



# fare elettronica

CULTURA ELETTRONICA APPLICATA

TUTTI GLI EVENTI DI  
MARZO 2006

CHI ORGANIZZA  
E CHI ESPONE

MARZO

n° 249 • Anno 22

MENS

## LA TUA RETE WIRELESS È DAVVERO SICURA?

FINALMENTE UN PO' DI LUCE SUGLI  
STANDARD, LE SOLUZIONI TECNOLOGICHE  
E LA SICUREZZA NELLE RETI WIRELESS  
802.11x.

## L'A/D CONVERTER DEL PIC TI RENDE NERVOSO?

IMPARA A GESTIRE LA CONVERSIONE  
ANALOGICO/DIGITALE CON IL PICMICO  
E IL COMPILATORE MIKROBASIC.

## VOUOI SAPERE TUTTO SULLE MACCHINE A STATI FINITI?

VOUOI REALIZZARE UN CIRCUITO  
CHE ESEGUA UNA DETERMINATA  
OPERAZIONE IN UN NUMERO FINITO  
DI PASSI? CREA LA TUA MACCHINA A  
STATI FINITI CON LE CPLD!

## RILEVA E CORREGGI GLI ERRORI NEI TUOI CIRCUITI STAMPATI

HAI SPESO UN SACCO DI TEMPO CON  
UN CIRCUITO CHE NON FUNZIONA PER  
POI SCOPRIRE CHE SI TRATTAVA DI UNA  
MICRO INTERRUZIONE IN UNA PISTA?  
COSTRUISCI QUESTO SEMPLICE  
BATTIPISTE, RISOLVERAI IL PROBLEMA  
IN MODO SEMPLICE ED EFFICACE.

## ESEGUI CALCOLI MATEMATICI CON GLI AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

COME ESEGUIRE SOMME E DERIVAZIONI  
UTILIZZANDO QUESTO COMPONENTE  
INDISPENSABILE NELLA MAGGIOR PARTE  
DEI CIRCUITI.

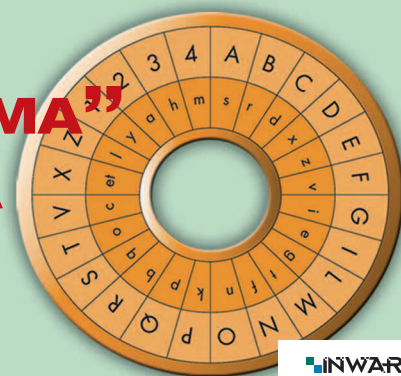


## I FARI DELLA TUA AUTO DURERANNO PIÙ A LUNGO!

LA NORMATIVA ITALIANA TI OBBLIGA A  
TENERLI ACCESI ANCHE DI GIORNO?  
ECCO COME ALLUNGARE  
LA VITA DELLE LAMPADE!

## SPECIALE "ENIGMA" LA CRITTOGRAFIA DEI DATI

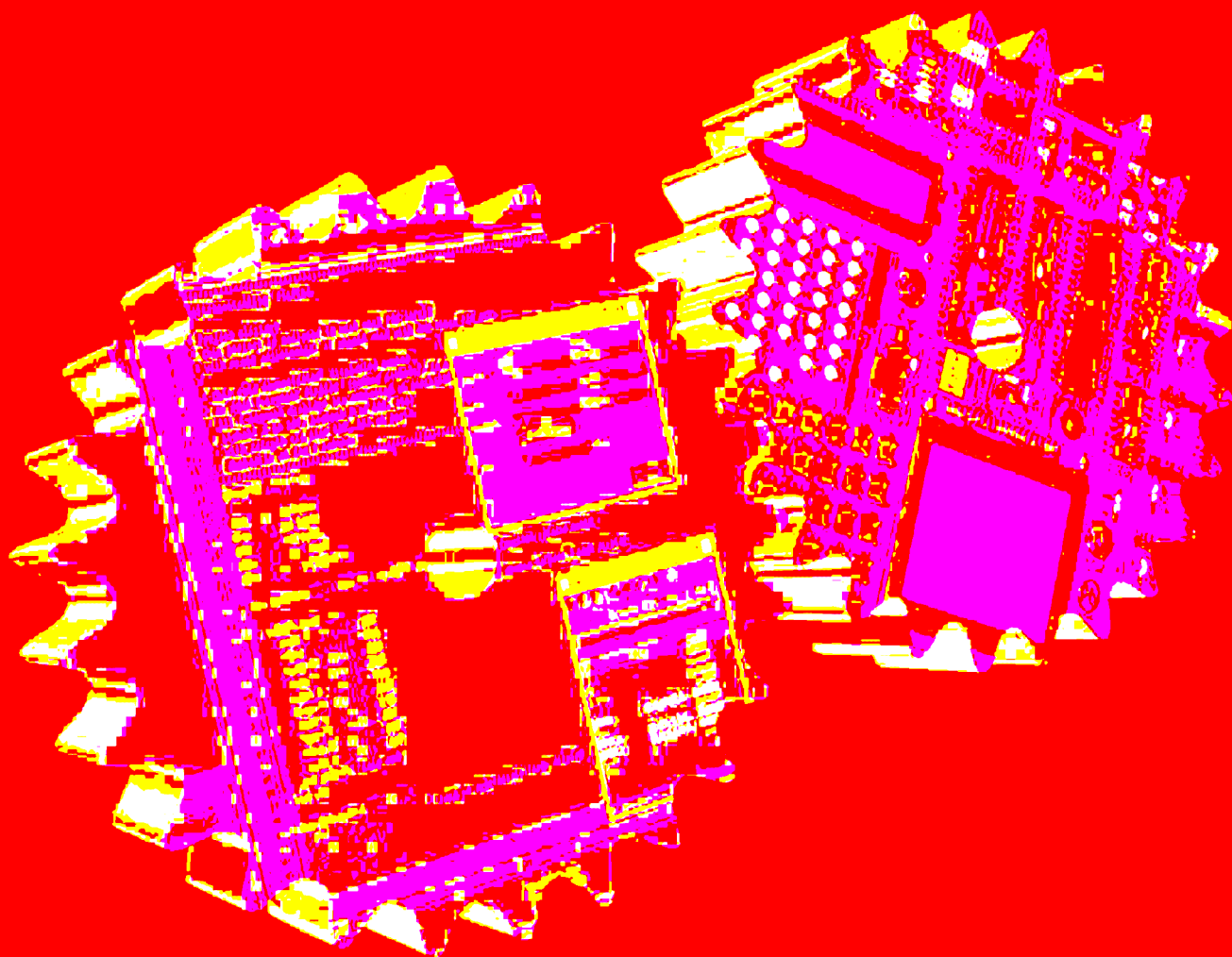
UN FANTASTICO VIAGGIO  
ALLA SCOPERTA DI UNA DELLE  
PIÙ AFFASCINANTI TECNOLOGIE  
CHE HA INCISO NOTEVOLMENTE  
SULL'ESITO DELLA SECONDA  
GUERRA MONDIALE E SULLA  
VITA DI MILIONI DI PERSONE.



INWARE  
EDIZIONI



€ 5,50



Compilatori ANSI stand-alone per tutte le famiglie di microcontrollori PIC. Ambiente di sviluppo intuitivo e ricco di strumenti base ed avanzati oltre a numerosi esempi pratici.

*...programmare i PIC  
sarà ancora più facile!*

# COMPILATORI

**MikroBASIC** **PIC**  
COMPILER

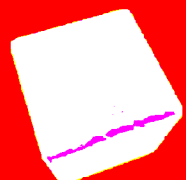
**MikroC** **PIC**  
COMPILER

**MikroPASCAL** **PIC**  
COMPILER

# MICROCONTROLLORI PIC



CTRL+SPAZIO visualizza la lista di tutte le variabili, costanti e routines da inserire alla posizione del cursore: molto comodo!



CTRL+SHIFT+SPAZIO visualizza i parametri richiesti per una specifica routine: non sarà più necessario doversi ricordare niente!



Monitoraggio delle variabili e dei registri durante la simulazione del programma: tutto sotto controllo!



Statistiche dettagliate sul tempo di esecuzione, allocazione delle funzioni, annidamenti, mappa della memoria e molte altre preziose informazioni!



Librerie di funzioni per:  
ADC, CAN, CANSPI, COMPACT FLASH, EEPROM, ETHERNET, FLASH MEMORY, LCD GRAFICI e ALFANUMERICI, I2C, TASTIERE, TASTIERE a MATRICE, TASTIERE PS2, CODIFICA MANCHESTER, MMC, ONEWIRE, PWM, RS485, SECURE DIGITAL, I2C SOFTWARE, SPI SOFTWARE, UART SOFTWARE, SUONI, SPI, USART, USB HID, FUNZIONI TRIGONOMETRICHE, GESTIONE STRINGHE, funzioni di conversione e molto altro!



Esplorazione del codice facilitata per ritrovare velocemente variabili e procedure nel programma: mai più aghi nel pagliaio!



Posizionando il cursore su una parola e premendo F1 è possibile visualizzare tutte le informazioni contestuali: assistente sempre disponibile!



È un prodotto in esclusiva su  
**www.elettroshop.com**

**Inware®**  
Providing Innovation

Inware Srl  
Via Cadorna, 27/31  
20032 Cormano (MI) Italy  
Tel: 02.66504794 - Fax: 02.66508225  
[www.inware.it](http://www.inware.it) - [info@inware.it](mailto:info@inware.it)

Codice MIP 249002

# Sommario

## Pratica

### **48 Conversione analogico-digitale con il PIC**

*Aggiungiamo un importante tassello alla conoscenza del microcontrollore PIC, cioè lo studio della conversione analogico-digitale di un segnale. Un passo obbligatorio per poter gestire trasduttori e sensori che forniscono solamente tensioni di qualsiasi livello analogico.*

### **22 Riduttore di tensione per lampade automobilistiche**

*Una recente modifica alle norme del codice della strada dispone l'accensione dei fari anabbaglianti, anche nelle ore diurne, su tutte le strade extraurbane. L'uso intensivo dei fari accelera però la fine delle lampade, con il conseguente aumento delle spese generali di manutenzione del veicolo. Ma la tecnica elettronica può aiutarci. Limitando anche di poco la tensione applicata, si può aumentare in modo significativo la vita delle lampade, senza diminuirne, in modo altrettanto significativo, la visibilità.*

### **68 Macchine a stati finiti**

*Dopo aver messo a punto il circuito di sviluppo hardware con la relativa interfaccia di programmazione e il modulo a display, in questa puntata ci soffermiamo su un argomento teorico, quello della codifica delle Macchine a Stati.*

### **98 Battipiste per circuiti stampati**

*Quando si tratta di andare alla ricerca di cortocircuiti o interruzioni di piste in circuiti stampati ad alta densità di componenti, come spesso accade con le schede digitali, di solito ci si affida a un buon tester dotato del classico "cicalino", che si attiva quando la resistenza elettrica tra due punti è praticamente nulla. Realizzando il circuito descritto in questo articolo, otterrete uno strumento che risolve il problema in modo semplice ed efficace.*

## Teoria

### **82 Standard, soluzioni tecnologiche e sicurezza nelle reti wireless 802.11x**

*Continua la trattazione delle reti wireless, che questo mese si occupa dei problemi della cifratura e della sicurezza dei dati che viaggiano nell'ambito delle reti senza fili. Infine anticipiamo qualcosa sul futuro di questa tecnologia, che troverà sicura e definitiva affermazione grazie ad accorgimenti riguardanti la sicurezza. Concludiamo con le soluzioni tecnologiche più diffuse per la realizzazione di interfacce wireless compatibili con gli standard presentati.*

### **102 Operazioni matematiche con gli operazionali**

*Gli amplificatori operazionali devono la loro denominazione alla capacità di eseguire molteplici operazioni. Qui se ne descrivono alcune fra le più significative.*





### Speciale

## 32 Dal disco cifrante di L. B. Alberti ad Enigma

*Alcuni passaggi importanti della storia della crittografia, a partire dal disco cifrante di Leon Battista Alberti ad Enigma, la macchina cifrante che, punto di forza delle comunicazioni del Terzo Reich, si rivelò un grosso vantaggio per gli alleati nel corso della Seconda Guerra Mondiale. Una delle più affascinanti storie "tecnologiche", che ha inciso notevolmente sull'esito della guerra e sulla vita di milioni di persone.*

### Risorse

## 8 Mailbox

*Le richieste dei lettori pervenute in redazione, ecco le più interessanti di questo mese*

## 10 Prima pagina

*Notizie e novità dal mondo dell'elettronica, degne di Prima Pagina!*

## 16 Notepad

*Schemi applicativi e idee di progetto che utilizzano i componenti elettronici più attuali ed interessanti.*

## 20 Gli eventi di Marzo 2006

*Scopri quali sono gli eventi di Marzo 2006 e da chi sono organizzati. Trovi anche un breve elenco espositori per ciascun evento.*

## Aziende citate in questo numero

Analog Device	16	Futura Elettronica	37-71
Artek	91	Idea Elettronica	65
Atmel	94	Intel	95
Aurel	37	Inware srl	2
BIAS	25	Kevin-Schurter	19-47
Blu Nautilus	51-59	Linear Technology	12
Centro Fiera del Garda	20	Microchip	10-48
Compel	11	Microwave engineering	96
Conexant	96	Mikroelektronika	55-48
Consorzio Elettrimpex	29	Millennium Dataware	81
Cypress Semiconductor	14	National Instruments	18
Distrelec	26	Pordenone Fiere	75
Dlink	86	Precma	31
Eikon	95	Ralink Technology	96
Electronics Forum	29	Scuola Radio Elettra	116
Elettroshop	10	Silicomp	12
ERF	105	SIS	96
Evr Electronics	107	Texas Instruments	94
Expo Fiere	85	Vicor	11
Farnell	13-111	Wireless	43
Fiera millenaria	89	Xilinx	68

## DIRETTORE RESPONSABILE

Antonio Cirella

## DIRETTORE ESECUTIVO

Tiziano Galizia

## COORDINAMENTO TECNICO

Maurizio Del Corso

## HANNO COLLABORATO IN QUESTO NUMERO

Giovanni Di Maria, Rossano Zanardi, Enrico Raffone,  
Nico Grilloni, Agostino Rolando.

## DIREZIONE • REDAZIONE • PUBBLICITÀ

INWARE Edizioni srl - Via Cadorna, 27/31 - 20032 Cormano (MI)

Tel. 02.66504755 - Fax 02.66508225

info@inwaredizioni.it - www.inwaredizioni.it

Redazione: redazione@farelettronica.com

## PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

Graficonsult - Milano

## STAMPA

ROTO 2000 - Via L. da Vinci, 18/20 - 20080, Casarile (MI)

## DISTRIBUZIONE

Parrini & C. S.p.a. - Viale Forlanini, 23 - 20134, Milano

## UFFICIO ABBONAMENTI

INWARE Edizioni srl - Via Cadorna, 27/31 - 20032 Cormano (MI)

Per informazioni, sottoscrizione o rinnovo dell'abbonamento:

abbonamenti@farelettronica.com

Tel. 02.66504755 - Fax. 02.66508225

L'ufficio abbonamenti è disponibile telefonicamente

dal lunedì al venerdì dalle 14,30 alle 17,30

Tel. 02.66504755 - Fax. 02.66508225

Poste Italiane S.p.a. - Spedizione in abbonamento Postale

D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n. 46) art. 1, comma1, DCB Milano.

Abbonamento per l'Italia: € 45,00

Abbonamento per l'estero: € 115,00

Gli arretrati potranno essere richiesti, per iscritto, al seguente costo:

Numero singolo: € 7,50

Numero doppio: € 9,00

Numero con allegato: € 8,50

Autorizzazione alla pubblicazione del Tribunale di Milano n. 647 del 17/11/2003.

© **Copyright** - Tutti i diritti di riproduzione o di traduzione degli articoli pubblicati sono riservati. Manoscritti, disegni e fotografie sono di proprietà di Inware Edizioni srl.

È vietata la riproduzione anche parziale degli articoli salvo espressa autorizzazione scritta dell'editore. I contenuti pubblicitari sono riportati senza responsabilità, a puro titolo informativo.

**Privacy** - Nel caso la rivista sia pervenuta in abbonamento o in omaggio, si rende noto che i dati in nostro possesso sono impiegati nel pieno rispetto del D.Lgs. 196/2003. I dati trasmessi a mezzo cartoline o questionari presenti nella rivista, potranno venire utilizzati per indagini di mercato, proposte commerciali, o l'inoltro di altri prodotti editoriali a scopo di saggio. L'interessato potrà avvalersi dei diritti previsti dalla succitata legge. In conformità a quanto disposto dal Codice di deontologia relativo al Trattamento di dati personali art. 2, comma 2, si comunica che presso la nostra sede di Cormano Via Cadorna 27, esiste una banca dati di uso redazionale. Gli interessati potranno esercitare i diritti previsti dal D.Lgs. 196/2003 contattando il Responsabile del Trattamento Inware Edizioni Srl (info@inwaredizioni.it).

## RICHIESTE DI ASSISTENZA

Per richiedere assistenza o chiarimenti sugli articoli pubblicati, vi preghiamo di contattare direttamente l'autore. Se questo non fosse possibile, utilizzate il modulo di contatto che trovate sul nostro sito web [www.farelettronica.com](http://www.farelettronica.com).

## COLLABORARE CON FARE ELETTRONICA

Le richieste di collaborazione vanno indirizzate all'attenzione di Tiziano Galizia ([t.galizia@farelettronica.com](mailto:t.galizia@farelettronica.com)) e accompagnate, se possibile, da una breve descrizione delle vostre competenze tecniche e/o editoriali, oltre che da un elenco degli argomenti e/o progetti che desiderate proporre.

## ELENCO INSERZIONISTI

**Artek Electronics solution snc** ..... pag. 91

Piazza Pirazzoli, 2 - 40020 Sasso Morelli (BO)

Tel 0542.643192 - [www.artek.it](http://www.artek.it)

**BIAS Group Srl** ..... pag. 25

Via Gorki, 69 - 20092 Cinisello Balsamo (MI)

[www.bias-net.com](http://www.bias-net.com)

**Blu Nautilus srl** ..... pag. 51-59

Piazza Tre Martiri, 24 - 47900 Rimini

Tel 0541.53294 - [www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it)

**Consorzio Elettrimpex** ..... pag. 29

Via Console Flaminio, 19 - 20134 Milano

Tel 02.210111230 - [www.elettrimpex.it](http://www.elettrimpex.it)

**Eikon srl** ..... pag. 95

Via Borgognina, 6 - 61030 Lucrezia (PU)

Tel 0721.877365 - [www.eikonsite.it](http://www.eikonsite.it)

**E.R.F.** ..... pag. 105

Largo Fiera della Pesca, 11 - 60100 Ancona

Tel 0733.780811 - [www.erf.it](http://www.erf.it)

**EVR Electronics** ..... pag. 107

Viale Kennedy, 96 - 20027 Rescaldina (MI)

Tel 0331.464893 - [www.evr-electronics.com](http://www.evr-electronics.com)

**Expo Eventi** ..... pag. 85

Via Ponte Punzetti, 24 - 44033 Berra (FE)

Tel 333.6252325 - [www.expofiere.com](http://www.expofiere.com)

**Farnell Italia** ..... pag. 13

Corso Europa, 20/22 - 20020 Lainate (MI)

Tel 02.939951 - [www.farnellinone.com](http://www.farnellinone.com)

**Fiera Adriatica** ..... pag. 101

Via Siena, 22 - 65122 Pescara

Tel 085.4215840 - [www.mdsrl.it](http://www.mdsrl.it)

**Fiera Millenaria di Gonzaga** ..... pag. 89

Via Fiera Millenaria, 13 - 46023 Gonzaga (MO)

Tel 0376.58098 - [www.fieramillenaria.it](http://www.fieramillenaria.it)

**Futura Elettronica snc** ..... pag. 37-71

Via Adige, 11 - 21013 Gallarate (VA)

Tel 0331.792287 - [www.futuranet.it](http://www.futuranet.it)

**Idea Elettronica** ..... pag. 65

Via S. Vittore 24/A - 21040 Oggiona con S.Stefano (VA)

Tel 0331.502868 - [www.ideaelettronica.it](http://www.ideaelettronica.it)

**Inware srl** ..... pag. 2-3-115

Via Cadorna 27/31 - 20032 Cormano (MI)

Tel 02.66504794 - [www.inware.it](http://www.inware.it)

**Kevin Shurter spa** ..... pag. 19-47

Via Settembrini, 29 - 20020 Lainate (MI)

Tel 02.30465311 - [www.kevin.it](http://www.kevin.it)

**Massa Mauro Informatica** ..... pag. 53

Via Baretti, 12 - 15011 Acqui Terme (AL)

Tel 0144.325402 - [www.tecnoacqui.it](http://www.tecnoacqui.it)

**Millenium Dataware** ..... pag. 81

Corso Repubblica, 48 - 15057 Tortona (AL)

Tel 0131.860254 - [www.mdsrl.it](http://www.mdsrl.it)

**Pordenone Fiere spa** ..... pag. 75

Viale Treviso, 1 - 33170 Pordenone

Tel 0434.232111 - [www.fierapordenone.it](http://www.fierapordenone.it)

**Precma srl** ..... pag. 31

Via Fontanino 4 - 23871 Lomagna (LC) - IT

Tel 039.5300590 - [www.precma.it](http://www.precma.it)

**Scuola Radio Elettra srl** ..... pag. 116

Via Biturgense, 104 - 00185 Cerbara di Città di Castello (PG)

Tel 075.862911 - [www.scuolaradioelettra.it](http://www.scuolaradioelettra.it)

**Wireless srl** ..... pag. 43

Via Monterosa, 11 - 20149 Milano

Tel 02.48100306 - [www.wirelessforum.it](http://www.wirelessforum.it)

# I contenuti!



## Note dalla redazione

I contenuti, la concretezza, sembra proprio che la società in cui viviamo non conosca più il significato di queste parole. Ovunque vediamo un mondo di facciata, bello e luccicante, ma dove sono i contenuti? I prodotti editoriali, le pubblicazioni, quindi i prodotti tipici del nostro settore, sempre più spesso riflettono questo dato di fatto: molta apparenza e pochi contenuti. Certo si può acquistare una rivista e rimanere delusi perché i contenuti non sono in linea con quello che stiamo cercando, ma la cosa che davvero fa riflettere è la sempre più frequente *assenza* di contenuti. Ed è con questo *chiaro in mente* che ogni mese facciamo il nostro lavoro, dando ascolto alle vostre richieste, sempre più numerose. Infatti, sollecitati dai nostri più affezionati lettori, abbiamo prima creato il MIP, lo strumento asservito all'interazione con i contenuti della rivista, apprendendo con grande piacere che è stato recepito ed utilizzato moltissimo. Poi le modifiche sul sito web, per garantire un più coerente sfruttamento degli spazi *multimediali* dei contenuti, come ad esempio la costruzione della pagina degli eventi (se non avete ancora visitato lo spazio eventi del sito vi invito a farlo). Inoltre, da questo numero, un rinnovato colpo di "sostanza" al sommario ed alla copertina, molto più descrittivi che mettono nel giusto risalto i contenuti della rivista.

Fare Elettronica è infatti una rivista che si rivolge al lettore "dandogli del tu", come ci piace dire, ma raccontandogli qualcosa, e vogliamo che la parte contenutistica sia sempre messa in bella mostra. Il design moderno ed accattivante aiuta di certo, ma non vogliamo assolutamente che prenda il sopravvento sul reale motivo per cui anche tu, caro lettore, hai acquistato la tua copia di Fare Elettronica: *i contenuti!*

Ed è proprio con questo in mente che vogliamo rinforzare il filo diretto che ci lega, vogliamo dare più voce alle vostre richieste, più di quanto facciamo già. A tal proposito abbiamo attivato nella home page nel nostro sito web un sondaggio che vi consentirà di mostrare le vostre preferenze, una grande occasione per indicare quello che vi piacerebbe leggere.

Ho parlato di contenuti, andiamo quindi a vedere quali. Un bellissimo progetto di *riduttore di tensione per fari auto* apre questo numero, un circuito che contribuirà ad allungare la vita delle lampade diminuendo le spese di manutenzione della vostra automobile. Continuiamo con un piccolo ma utilissimo circuito, *battipiste per circuiti stampati*, che farà sicuramente la felicità dei lettori alle prime armi, alla ricerca di circuiti semplici da realizzare. Il corso sul *Mikrobasic* continua e questo mese affronta la *conversione analogico/digitale* guidandovi alla realizzazione di un *termometro con memoria* dei valori letti ad intervalli di tempo ed un *monitor di livello batteria*. Per i lettori più esperti, una nuova puntata del corso *CPLD By Example* introduce le *macchine a stati finiti* dando tutti i ragguagli per realizzarne una in proprio. Continua la trattazione sulle *reti wireless 802.11x* approfondendo la sicurezza, sicuramente uno degli aspetti più importanti, daremo inoltre uno sguardo alle soluzioni tecnologiche più diffuse per la realizzazione di interfacce wireless compatibili con gli standard più diffusi. La seconda parte dell'articolo sulle *operazioni matematiche con gli operazionali*, aggiunge un nuovo tassello alla scoperta di questi indispensabili componenti. Per concludere, un affascinante viaggio alle origini della *crittografia*, partendo dal disco cifrante di L. B. Alberti fino ad arrivare ad *Enigma*, uno strumento crittografico che notevolmente influì sugli esiti della seconda guerra mondiale e sulla vita di milioni di persone.

Vi lascio quindi alla lettura di questo bellissimo numero e vi rinnovo l'appuntamento in edicola ad Aprile con il numero **250** (duecentocinquanta!) di Fare elettronica ed il numero 3 di Firmware.

**Tiziano Galizia**

t.galizia@fareelettronica.com

Scrivete a:

MAILBOX  
REDAZIONE DI  
FARE ELETTRONICA  
Inware s.r.l.  
Via Cadorna, 27/31  
20032, Cormano (MI)

Oppure inviate un'email a:  
mailbox@fareelettronica.com

# Mailbox

**Q**uesta rubrica ospita le richieste più interessanti pervenute dai lettori.

Per quanto possibile verrà data risposta a tutte le richieste pervenute via email.

## LINEARE DA 25W PER OC

Mi sarebbe utile lo schema di un amplificatore lineare per onde corte da 25W, potete aiutarmi?

*Sergio Bigani*

In figura 1 lo schema elettrico di un bel lineare da 25W a componenti discreti. Il trasformatore di ingresso dovrà essere costituito da 32 spire sul primario e 8 spire sul secondario su nucleo T68-2 (la presa centrale è alla quarta spira del secondario). Il trasformatore di uscita è formato da un primario di 4 spire con presa centrale alla seconda spira ed un secondario di 3 spire. Anche in questo caso gli avvolgimenti sono realizzati su toroide T68-2 e per entrambi i trasformatori si deve usare filo di rame smaltato da 0,8mm. Il circuito non necessita di alcuna operazione di taratura.

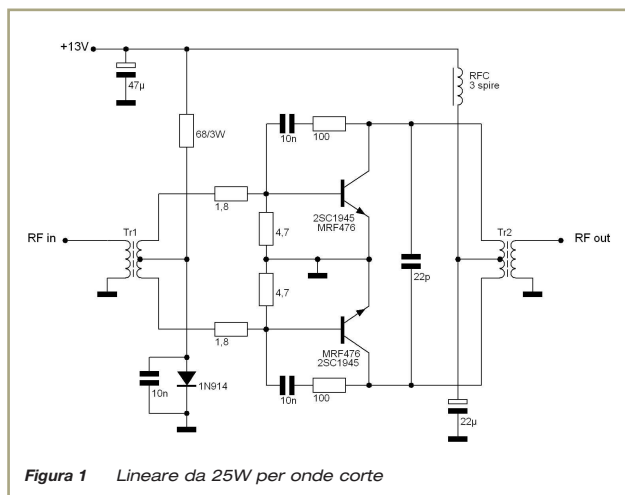


Figura 1 Lineare da 25W per onde corte

## RILEVATORE DI CIMICI FM

È possibile realizzare un circuito in grado di rilevare cimici FM?

*Riccardo Marioli*

Un semplice rilevatore di cimici FM è riportato in figura 2 ed impiega un diodo tunnel ed una bobina come elementi rilevatori. La bobina è costituita da due spire da 30mm di filo di rame smaltato da 1,2mm avvolte in aria e spaziate di 3mm l'una dall'altra. Il potenziometro consente la regolazione della sensibilità del circuito. Il transistor è montato come oscillatore a 1,8KHz per cui in presenza di campi elettromagnetici verrà emessa una nota a tale frequenza. È possibile rendere selettivo il circuito sostituendo la bobina rilevatrice con un circuito accordato LC parallelo.

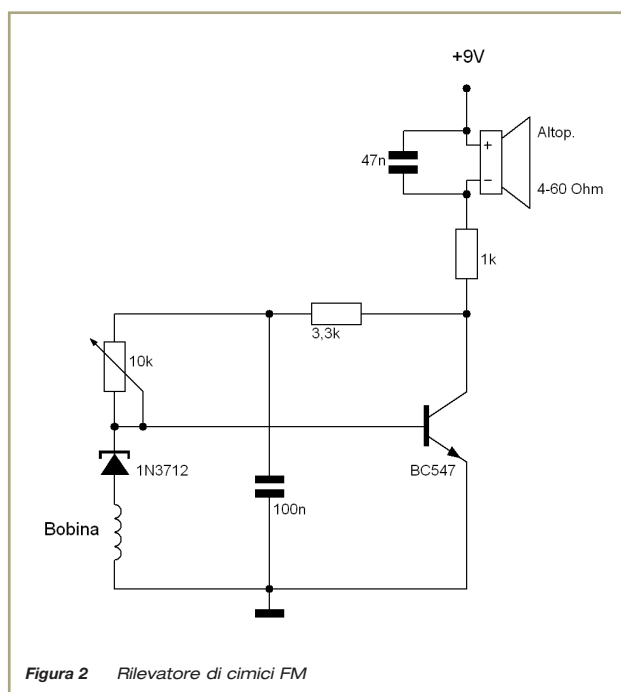


Figura 2 Rilevatore di cimici FM

## SUONO PSEUDO-STEREO

Spettabile Fare Elettronica è possibile rendere stereo un segnale mono? Se sì, con quale tipo di circuito? Grazie per la risposta.

*Maurizio Bruschi*

# “Richieste, chiarimenti, dubbi e commenti dai lettori”

Un suono stereo è nativamente registrato usando due microfoni posti ad una certa distanza in modo da ricostruire il senso di spazialità in fase di riproduzione (che avviene appunto con una coppia di altoparlanti). Se il suono viene registrato in modalità mono, quindi su un solo canale, risulta impossibile trasformarlo in un suono stereo.

Tuttavia esistono circuiti che consentono di alterare il suono mono espandendolo su due canali e modificandone la fase in modo da dare un senso di spazialità per chi ascolta pur non essendo propriamente un segnale stereo. La figura 3 mostra un esempio: l'ingresso mono viene invertito dal primo operazionale la cui uscita va a costituire il primo dei due canali. Tale uscita viene ulteriormente sfasata dal secondo operazionale per generare il secondo canale.

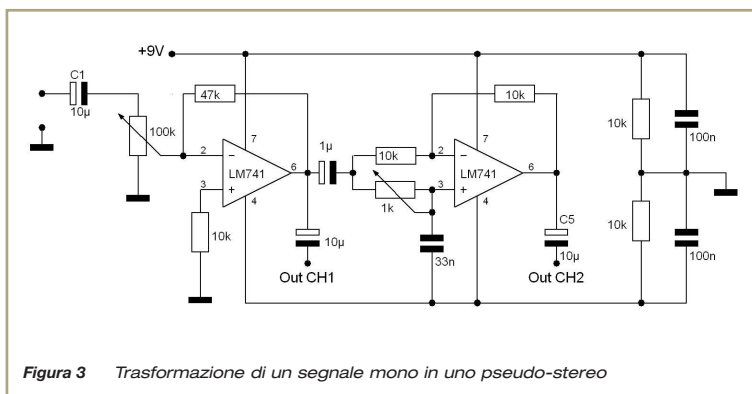


Figura 3 Trasformazione di un segnale mono in uno pseudo-stereo

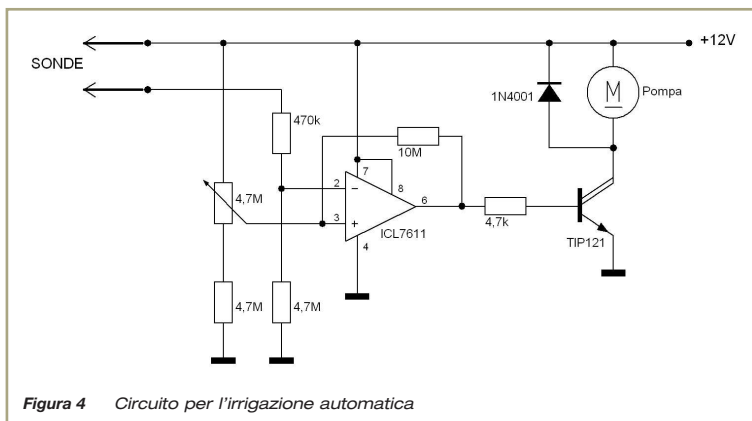


Figura 4 Circuito per l'irrigazione automatica

Il potenziometro in ingresso consente la regolazione del volume, mentre quello connesso al secondo amplificatore operazionale consente la regolazione dell'entità dello sfasamento del secondo canale in modo da poter “modulare” la sensazione di spazialità. L'alimentazione è singola e ricavata da una batteria a 9V.

## IRRIGAZIONE AUTOMATICA

*Vorrei veder pubblicato lo schema elettrico di un sistema di irrigazione automatico che azioni una pompa a 12V nei periodi di siccità.*

*Massimo Calendri*

Il più semplice circuito che soddisfi le richieste del nostro amico è quello riportato in figura 4. Il funzionamento si basa sul calcolo della resistenza tra due sonde conficcate nel terreno: tale resistenza è tipicamente di qualche centinaio di K $\Omega$  ma sale fino a qualche decina di M $\Omega$  in caso di forse siccità e scende a qualche decina di K $\Omega$  se il terreno è molto umido.

La resistenza del terreno fa parte di un partitore resistivo la cui uscita viene confrontata con una tensione di riferimento che può essere impostata manualmente.

Quando la tensione in uscita al partitore è minore di quella di riferimento l'operazionale si attiva polarizzando il transistor che a sua volta aziona il motore. Le sonde possono essere costituite da puntali per strumenti di misura e dovranno essere inserite nel terreno ad una distanza di circa 10cm l'una dall'altra.

Per la taratura occorre inserire le sonde in un vaso correttamente innaffiato quindi agire sul potenziometro fino a provocare lo spegnimento del motore.

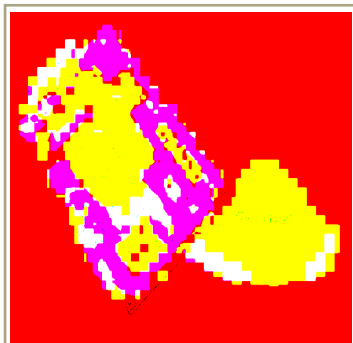


Rubrica di  
notizie e novità  
dal mondo  
dell'elettronica.

# Prima pagina

## GSP-1620, MODEM PER APPLICAZIONI DI MONITORAGGIO, TELECONTROLLO E SCADA CON ANTENNA OMNIDIREZIONALE

Elettroshop annuncia la distribuzione del GPS-1620, un modem utilizzato per applicazioni di monitoraggio, telecontrollo e SCADA che fa affidamento sui satelliti GLOBALSTAR per comunicare.



I satelliti GLOBALSTAR offrono la copertura di tre quarti delle terre emerse e di buona parte dei mari, quindi vengono superati i problemi di comunica-

zione che abitualmente sorgono con l'utilizzo della normale copertura GSM. Il modem riceve dati automaticamente dalle stazioni remote a cui è connesso e quindi si può effettuare un'azione di controllo a distanza.

Tra le principali caratteristiche troviamo: compatibilità con comandi AT standard "Hayes Modem", protocollo dati asincroni e a pacchetto (IP Packet Data su PPP), bit rate: 9600 bps full duplex, VPN Tunneling per una connettività sicura, compatibilità con connessione in dial-up su sistemi Windows 95/98/2000/XP e Linux, autenticazione e crittazione dei dati, localizzazione determinata con satelliti Globalstar fino a 10 Km, accuratezza del 95%, potenza massima di trasmissione: +26 dBm EIRP (0.4 W), alimentazione da +5.2 V a +16 V (DC), consumo stimato da 1.2 a 5.4 W (a seconda dello stato), porta seriale RS-232, porta per la diagnostica e upgrade del software, Certificazione FCC e CE, tecnologia Qualcomm Digital CDMA, dimensioni 190x75x17 mm, peso 180 gr.

Codice MIP 249201

## MICROCHIP ANNUNCIA UN FRONT END ANALOGICO STAND-ALONE PER APPLICAZIONI DI AUTENTICAZIONE WIRELESS

Microchip annuncia il suo primo front end analogico (AFE) stand-alone per applicazioni intelligenti a bassa frequenza (125kHz typ) di rilevamento e risposta legate ai sistemi di accesso "hands-free" per veicoli o abitazioni, ai comandi per sensori di pressione per pneumatici o ad altre soluzioni di autenticazione wireless.

Essendo un dispositivo stand-alone, il nuovo AFE MCP2030 può essere utilizzato insieme a qualsiasi microcontroller PIC® di Microchip per dare vita a un vasto spettro di applicazioni passive e a basso costo di accesso nonché a transponder o a sistemi di rilevamento intelligenti.

Grazie a un elevato livello di sensibilità d'ingresso (3 mVpp typ), alle numerose opzioni di sensibilità della profondità di modulazione (fino all'8 per cento) e ai tre canali d'ingresso che consentono la ricezione affidabile dei valori di tre assi, l'MCP2030 offre un vantaggio prestazionale che abbraccia aspetti quali il range, l'orientamento dell'antenna e il rumore ambientale.

Ciascun canale della funzione AFE è regolabile dinamicamente attraverso l'interfaccia SPI™ dell'AFE stesso, evitando costosi processi manuali. Il dispositivo offre anche un filtro intelligente di wake-up che permette di allungare la vita delle batterie.

Per supportare lo sviluppo di applicazioni di



## More Info Please!

Richiedi maggiori informazioni sui contenuti di Fare Elettronica, visita il sito: [www.farelettronica.com/mip](http://www.farelettronica.com/mip)

Oppure compila il modulo "Servizio MIP" ed invialo via fax al numero **02 66508225**

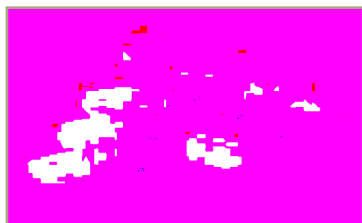
autenticazione wireless, Microchip offre il Passive-Keyless-Entry Reference Design Kit.

Questo kit prevede un microcontroller Microchip PIC16F639, dispositivo integrato comprendente un AFE MCP2030 nonché altri componenti necessari per un progetto di accesso keyless passivo. L'MCP2030 è offerto in package TSSOP, SOIC e PDIP a 14-pin.

**Codice MIP 249202**

### COMPEL ELECTRONICS PRESENTA LA NUOVA SERIE DI CONNETTORI MC - CARD

Compel Electronics Spa, azienda leader a livello internazionale nella progettazione e produzione



di sistemi di interconnessione e cablaggi, ha sviluppato la nuova serie di connettori denominata MC-Card. È una serie

di connettori miniaturizzati usati talvolta in alternativa ai coax. MMCX e adatta quindi ad essere utilizzata dove ci sono problemi di spazio e devono essere utilizzati anche cavi di piccole dimensioni. Il caratteristico innesto a scatto (snap-on) garantisce degli accoppiamenti affidabili e permette la rotabilità completa del connettore. Il tipo più interessante di questa serie rimane comunque la femmina con switch integrato per montaggio SMT. Questo connettore viene usato principalmente nelle schede per computer portatili con sistema wireless: la presenza dell'interruttore permette il collegamento con un'antenna esterna più potente (anch'essa disponibile su richiesta) staccando automaticamente il collegamento con l'antenna interna del computer durante l'accoppiamento dei connettori. Il connettore possiede un meccanismo interno a molle che permette un numero elevato di accoppiamenti affidabili e ripetitivi (oltre 5000 manovre). Il particolare può esse-

re fornito sfuso o equipaggiato in reel per il montaggio automatico sulla piastra c.s.

**Codice MIP 249203**

### VICOR QUALITY CENTER

Vicor annuncia la disponibilità del suo nuovo Vicor Quality Center interattivo presso [www.vicor-quality.com](http://www.vicor-quality.com). Questo servizio, primo nel suo genere, è progettato per soddisfare le necessità di clienti o le loro prospettive inerenti ad informazioni aggiornate sulla qualità presso Vicor, a loro comodità, on-line, in qualsiasi momento.

Il Quality Center è una completa risorsa on-line dei sistemi di qualità Vicor. In qualsiasi momento, il visitatore può creare un report di qualità specifico, effettuare un video percorso della fabbrica Vicor di 21.400 m2, oppure passare attraverso ogni passo del processo di qualità. In modo più specifico, il visitatore può: esplorare i sistemi di qualità di Vicor tramite una libreria di documentazione, di video e di flussi di processo; generare un report di qualità specifico basato su criteri ISO 9001:2000 che soddisfano interamente i requisiti specifici di un cliente; scaricare il report in formato PDF con hiperlink a video e ad altre informazioni che soddisfino le necessità individuali di qualità.

I visitatori possono sfogliare l'intero processo di qualità di Vicor incluso il calcolo d'affidabilità, la tracciabilità e le procedure di soddisfazione del



cliente (customer satisfaction), vedere la libreria di qualità incluse le pubblicazioni, i datasheet e i libri bianchi su tale materia, leggere e/o scaricare standard di Vicor e report di qualità dell'industria, certificati ISO 9001:2000, e dettagli sullo status della direttiva lead-free RoHS di Vicor. Cliccando semplicemente su un link, essi possono anche esaminare un'indagine sulla qualità del cliente per inviare all'organizzazione Qualità di Vicor i loro suggerimenti volti a migliorare in tempo reale parametri chiave della prestazione.

La linea completa Vicor di soluzioni di potenza include moduli AC-DC e DC-DC ad alta densità e componenti accessori, sistemi di potenza AC-DC e DC-DC completamente configurabili e sistemi di potenza custom completi.

**Codice MIP 249204**

## DOPPIO CONTROLLER I2C PER MONITORAGGIO ALIMENTAZIONE DA LINEAR

Linear Technology presenta l'LTC2970, un doppio controller I2C per il monitoraggio e il margining dell'alimentazione, progettato per la gestione digitale degli alimentatori nei sistemi ad "alta disponibilità".

L'LTC2970 offre la migliore combinazione di funzioni digitali e analogiche per la gestione digitale dell'alimentazione. L'interfaccia digitale I2C, l'ADC a 14 bit, i DAC di uscita corrente e riferimento di altissima precisione offrono ai progettisti di alimentatori digitali ciò che vogliono: il controllo digitale di un alimentatore analogico. L'LTC2970 lavora praticamente con qualsiasi alimentazione, consentendo ai progettisti di scegliere il convertitore CC-CC ottimale, con un loop di controllo analogico che fornisce un controllo sicuro della tensione di uscita e risposta alla corrente transitoria rapida. Un riferimento on-chip e un convertitore  $\Delta\Sigma$  A/D a 14 bit assicurano misurazioni accurate di tensioni di alimentazione, correnti di carico e temperatura. Due DAC a 8 bit con buffer di tensione alimentano i nodi di feedback degli alimentatori per migliorare la precisione, oppure possono essere programmati con un servo a tensione lineare, lento, per il trimming e il margining delle tensioni di uscita. Ciò rende

l'LTC2970 utile nella determinazione della sensibilità dell'alimentatore durante la fase prototipica o in produzione per testare l'accuratezza di fabbricazione. L'accuratezza di livello superiore dell'IC consente di servoassistere con precisione la tensione di uscita di ogni alimentare su un'ampia gamma di condizioni operative, integrando al contempo tutte le funzioni vitali in un package QFN 4 mm x 5 mm compatto. Un monitoraggio guasti completo, configurabile dall'utente, offre maggiore affidabilità avvisando un host del sistema dei problemi incipienti prima che si verifichino. L'architettura  $\Delta\Sigma$  dell'LTC2970 è stata scelta specificamente per calcolare la media del rumore dell'alimentatore e consentire all'LTC2970 di ignorare i transienti rapidi. Il punto di riferimento di terra del carico per le uscite DAC riduce al minimo gli errori che si verificherebbero in un sistema di alimentazione in cui si verifica una propagazione da terra. Selezionando due valori resistivi, l'utente può scegliere la risoluzione appropriata, offrendo un importante limite di range hardware al di là del quale l'alimentazione non può essere attivata. La gestione digitale intelligente dell'alimentazione offerta dall'LTC2970 è ideale per controllare e monitorare convertitori CC-CC, nonché per la telemetria dell'alimentatore e la diagnostica della scheda. Tutte le comunicazioni con l'LTC2970 vengono effettuate tramite il bus I2C standard di settore. Supporta i comandi di potenza digitali di base, quali l'impostazione della tensione di uscita precisa, la lettura della tensione di uscita, la lettura della corrente di uscita, aumento e riduzione del margine, ma consente anche di impostare i limiti per sovra/sottotensione e sovra/sottocorrente. L'LTC2970-1 incorpora una funzionalità di tracking in grado di attivare o disattivare più alimentatori in modo controllato. Con piena garanzia di funzionamento nei range di temperatura per applicazioni commerciali e industriali.

**Codice MIP 249205**

## SILICOMP ITALIA PRESENTA METALLA: RIVELATORE PORTATILE DI METALLI E CORRENTE

Silicomp, società del Gruppo Altesys specializzata nella progettazione di strumenti di misurazione per i professionisti delle installazioni di cavi telefonici, elettrici, reti LAN e servizi, presenta Metalla, il nuovo rilevatore portatile di metalli e corrente per



# IL CATALOGO Farnell InOne È GRATIS RICHIEDILO ORA

■ Servizi on-line

■ Ricerca

■ Richiedi campioni

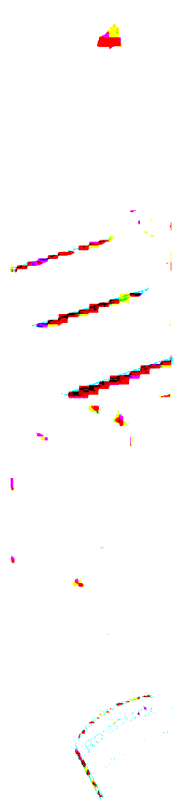
■ Salva i tuoi preferiti

■ Confronta i prezzi

■ Richiedi prezzi

■ Richiedi informazioni

■ Modifica

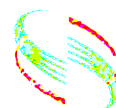


**350.000 PRODOTTI ONLINE  
CONSEGNATI IN SOLE 24 ORE!**

- ▶ CONSULENZA GRATUITA SULLE DIRETTIVE RoHS
- ▶ CONVERSIONE GRATUITA DA NON-RoHS A RoHS
- ▶ CERTIFICATI RoHS GRATUITI

**02.93995.200**  
[www.farnellinone.it](http://www.farnellinone.it)

FARNELL  
**inone**





manutentori, installatori e tecnici specializzati. Metalla è un sofisticato rilevatore professionale di metalli e campi elettrici, in grado di soddisfare tutte le esigenze d'individuazione e mappatura in ambienti industriali e civili. Mediante una funzione di soglia d'allarme, selezionabile dall'utilizzatore, viene attivata una segnalazione acustica in presenza degli oggetti ricercati. La garanzia dell'apparecchio di individuare con facilità e precisione la presenza di condutture sotto traccia di gas, acqua e di cavi in tensione, ne fa uno strumento insostituibile per la prevenzione degli infortuni sul lavoro e la tutela dell'incolumità personale, in conformità a quanto stabilito dalle ultime disposizioni di legge. Le funzioni di Metalla possono essere così sintetizzate: ricerca di tubi nelle pareti e nei pavimenti, ricerca di collegamenti elettrici in tubazioni sotto traccia, ricerca di corpi metallici sulle persone, ricerca di chiusini e di oggetti metallici interrati. Grazie a un potente microprocessore di elaborazione dei segnali, Metalla offre la possibilità di effettuare misure escludendo il segnale di fondo relativo all'ambiente in cui si opera. Metalla è utilizzabile con batterie di tipo alcalino o nichel cadmio ed è inoltre dotato di una funzione di auto spegnimento che si attiva dopo cinque minuti di inattività.

**Codice MIP 249206**

### DA CYPRESS SEMICONDUCTOR E AUTHENTEC UN DESIGN DI RIFERIMENTO PER LA SICUREZZA BIOMETRICA DI HDD ESTERNI USB DI TIPO "PLUG AND PLAY"

Cypress Semiconductor e AuthenTec hanno annunciato l'introduzione di un design di riferimento che permet-



te l'aggiunta di funzioni di sicurezza agli hard disk drive (HDD) esterni utilizzando il riconoscimento delle impronte digitali.

Grazie alla crescente diffusione dei dispositivi di memorizzazione portatili, gli utenti hanno iniziato a trasferire dati sensibili – sia personali sia aziendali – su questi drive. Nel caso questi ultimi vadano

perduti o vengano rubati, i danni risultanti possono essere di notevole entità, in relazione a chi entra in possesso di questi drives. Il nuovo design di riferimento CY4651 sviluppato congiuntamente da Cypress Semiconductor e AuthenTec consente ai produttori di dispositivi di memorizzazione e HDD portatili di aggiungere con estrema semplicità funzioni di sicurezza biometria a questi drive, limitando l'accesso ai dati contenuti alle persone con impronte digitali registrate.

Il design di riferimento contiene tutto il necessario per garantire la sicurezza di HDD esterni, compresi schemi circuitali, firmware, un manuale di progettazione per l'utente e una lista completa di materiali (BOM - Bill of Materials). Il costo totale dei componenti inclusi nella lista, pari a circa 7 Dollari, fa di CY4651 la soluzione di sicurezza biometrica più economica tra quelle attualmente disponibili. Il design di riferimento integra EntréPad® 2510 di AuthenTec, il più collaudato sensore a scorrimento per la lettura di impronte digitali e il microcontrollore USB ad alta velocità e bassa dissipazione EZ-USB FX2LP™ di Cypress Semiconductor, il quale si interfaccia con il sensore di AuthenTec e fornisce i dati prelevati dall'HDD al computer host. "La sicurezza è un fattore che sta assumendo un'importanza sempre maggiore nel settore dei dispositivi di memorizzazione portatili – ha detto Rajiv Nema, product marketing manager della divisione high speed PC Peripherals di Cypress Semiconductor – e questo design di riferimento rappresenta per i produttori di dispositivi di memorizzazione una soluzione economica, ad alte prestazioni e di semplice realizzazione in grado di soddisfare appieno le loro necessità". "Siamo particolarmente soddisfatti di aver collaborato con l'azienda leader a livello mondiale nel settore USB per la realizzazione di questa importante applicazione" ha detto Bill Dennehy, direttore delle attività di business development di AuthenTec. "La sicurezza è un fattore critico per i dispositivi di memorizzazione portatili e le soluzioni biometriche basate sulla lettura delle impronte digitali rappresentano la soluzione più economica ed affidabile".

Il nuovo design di riferimento CY4651 può essere scaricato a titolo gratuito dalla sezione "Reference Design" del sito Web di Cypress Semiconductor all'indirizzo: [www.cypress.com](http://www.cypress.com)

**Codice MIP 249207**



# Fare Elettronica

## servizio MIP

**Richiedi maggiori informazioni sui contenuti di Fare Elettronica, visita il sito:**

**[www.farelettronica.com/mip](http://www.farelettronica.com/mip)**

**Oppure compila questo modulo ed invialo via fax al numero 02 66508225**

## More Info Please!

**NUMERO DELLA RIVISTA**

249

**CODICI MIP\***  
(DA COMPILARE)


### DATI DEL LETTORE

NOME

COGNOME

AZIENDA

INDIRIZZO AZIENDA

CAP

CITTÀ

PROV.

NAZIONE

TEL.

FAX

E-MAIL

**Privacy.** Ai sensi del Decr. Lgs. 196/2003 la informiamo che i dati trasmessi verranno impiegati coi principali scopi di indagini di mercato e nelle modalità previste dallo stesso, prevalentemente con mezzi informatici. Il conferimento, di norma facoltativo, è obbligatorio per permettere il rapporto commerciale. È in ogni caso fatto diritto dell'interessato esercitare i propri diritti, nei modi previsti dal "Titolo II art. 7" della legge sopra citata, scrivendo a Inware Edizioni Via Cadorna 27 - 20032 Cernusco o tramite email a [info@inwaredizioni.it](mailto:info@inwaredizioni.it)

\* Utilizza il numero MIP che compare alla fine di ogni articolo o all'interno delle pagine di tuo interesse

Dal blocco note di Fare Elettronica una raccolta di idee da tenere sempre a portata di mano.

# Notepad

16

Risorse

**Q**uesta rubrica ha lo scopo di fornire degli schemi applicativi o idee di progetto dei componenti elettronici più interessanti, selezionati per voi dalla redazione.

Tutti gli schemi presentati sono elaborazioni di quelli ufficiali proposti dai produttori nella documentazione ufficiale.

## TACHIMETRO A BASSO COSTO

In figura 1 è riportata una soluzione pronta all'uso di un tachimetro impiegante un convertitore frequenza/tensione LM2907.

Il sensore è costituito da un pick-up magnetico a riluttanza variabile che genera una sequenza

di impulsi la cui frequenza è ovviamente proporzionale alla velocità di rotazione dell'albero motore.

Mediante l'LM2907 tale frequenza viene convertita in tensione con una risoluzione di circa 15mV/Hz. L'alimentazione è singola di 15V.

## AMPLIFICATORE AD ISOLAMENTO GALVANICO

Per ottenere un buon isolamento galvanico tra due sezioni di un circuito e contemporaneamente amplificare un segnale analogico, è possibile impiegare un AD202 di Analog Devices. Questo componente permette di avere una escursione della tensione di uscita nel range di  $\pm 5V$  ed un guadagno variabile da 1 a 100. Le non linearità introdotte restano comunque in un range di  $\pm 0,025\%$ , il CMRR è di 130dB ed i consumi sono inferiori ai 35mW.

La figura 2 mostra uno schema applicativo come stadio non invertente con guadagno regolabile e controllo della tensione di offset. Il potenziometro sull'uscita permette la regolazione dello zero.

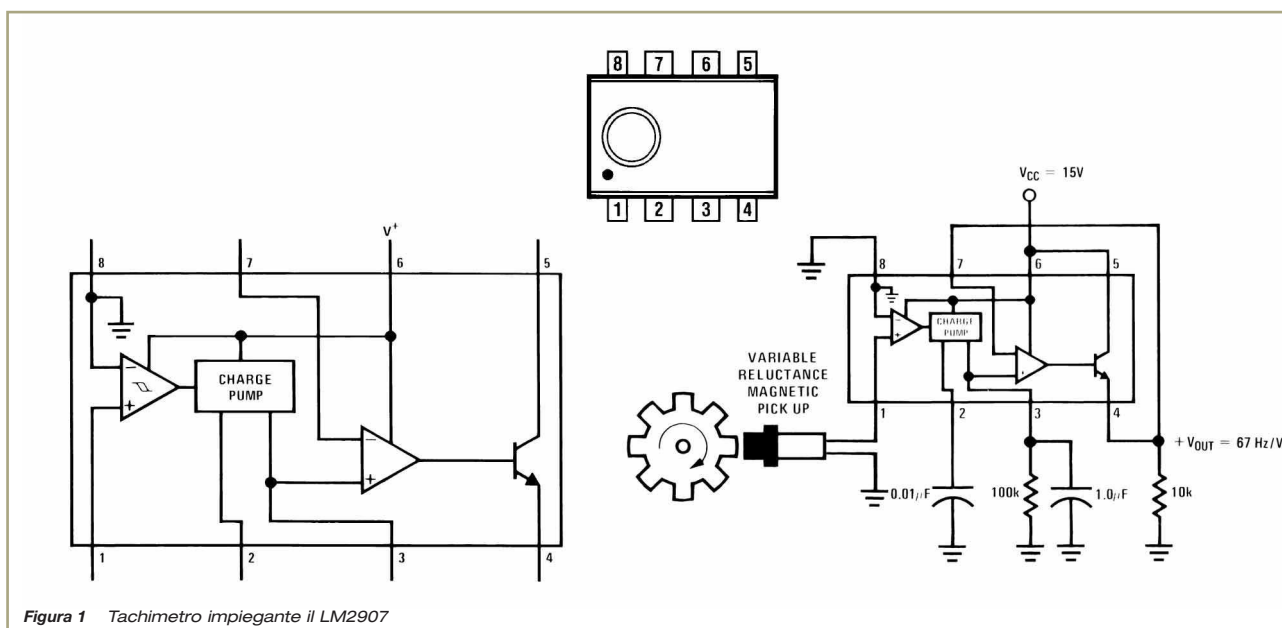


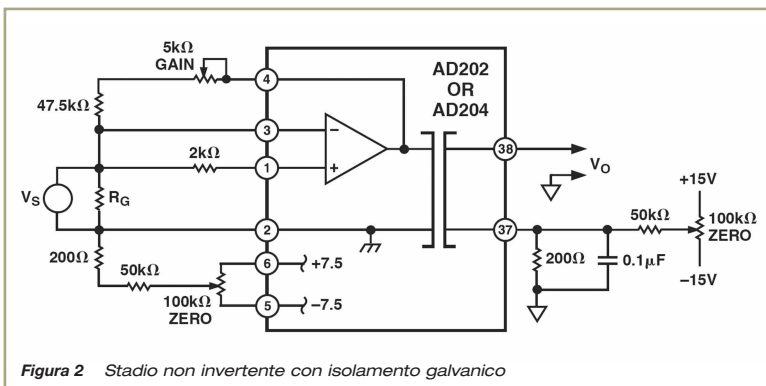
Figura 1 Tachimetro impiegante il LM2907



## PILOTAGGIO DI QUATTRO LINEE AUDIO CON 3VRMS

In applicazioni audio in cui la compattezza e la bassa distorsione sono requisiti fondamentali, può essere utilizzato il MAX9727 per il trasferimento di 4 linee audio verso i relativi carichi.

Le prestazioni sono piuttosto interessanti: alimentazione da 2,7V a 5,5V, alto rapporto segnale/rumore (190dB), rimozione di click e pop all'accensione, 3Vrms su carico da 1K $\Omega$ , distorsione armonica THD+N dello 0,0005%. In figura 3 il pinout ed una applicazione tipica.

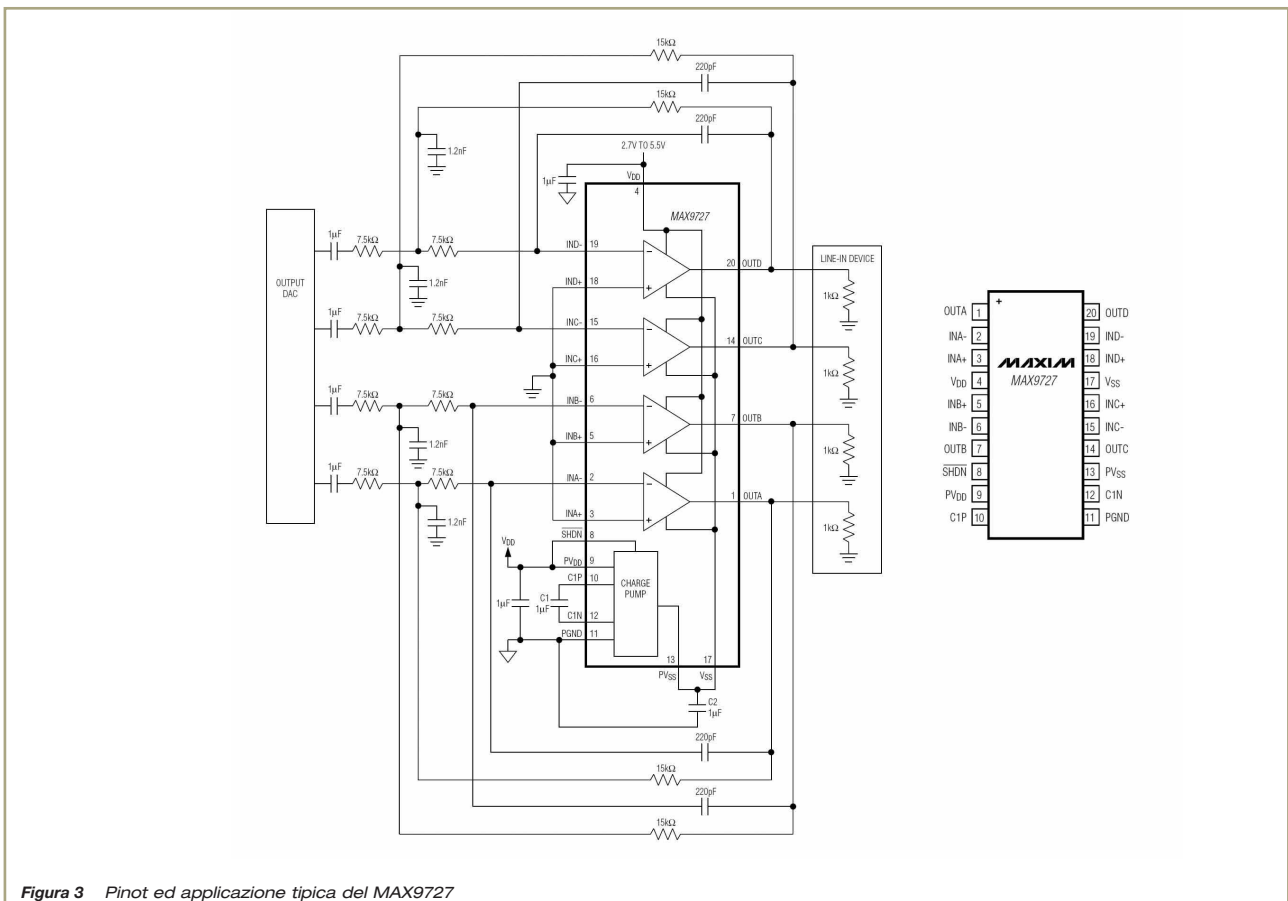


## DRIVER PER DISPOSITIVI DUAL-BATTERY

Utilizzando un MAX1538 è possibile controllare sistemi aventi due fonti di alimentazione a batteria.

Mediante i livelli di tensione presentati ad opportuni ingressi, è possibile scegliere tra una fonte AC esterna o una delle due batterie.

La commutazione tra una sorgente e



l'altra dipende anche dallo stato di carica delle batterie che viene comunque monitorato dai comparatori presenti nel MAX1538. Nella figura 4 lo schema applicativo come step-down charger.

### CONTROLLO DI TEMPERATURA IN I2C

Un esempio di applicazione di un sensore di temperatura I2C di National Semiconductor

codificato come LM92.

L'accuratezza di questo sensore è di  $\pm 0,33^{\circ}\text{C}$  e la presenza di un comparatore a finestra interno al dispositivo consente la realizzazione di sistemi di controllo di temperatura con un minimo impiego di componenti esterni.

In figura 5 uno schema a blocchi ed una applicazione tipica.

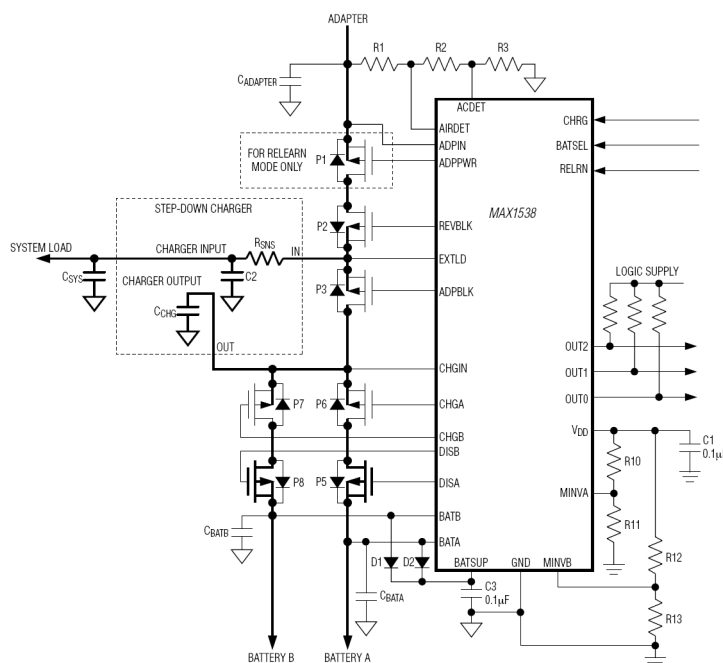


Figura 4 Schema applicativo del MAX1538 come step-down charger

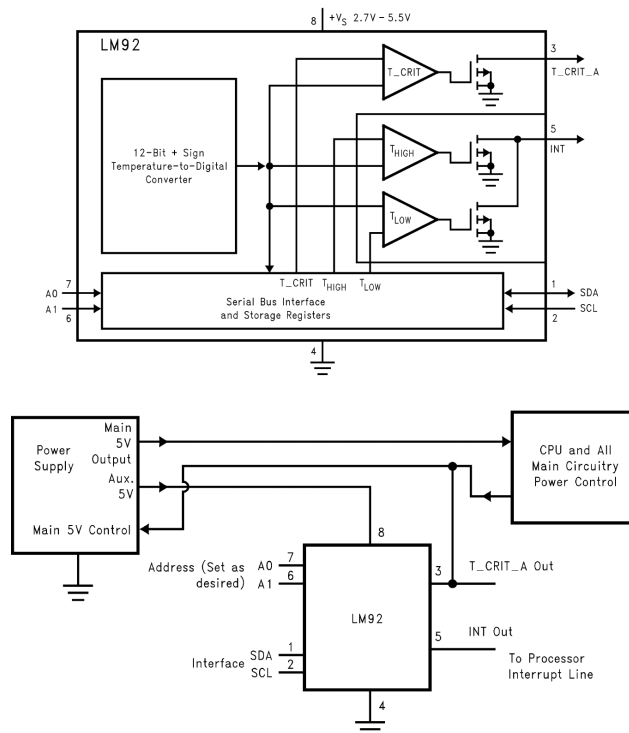


Figura 5 Schema a blocchi ed applicazione tipica del LM92

## IL PUNTO DI RIFERIMENTO PER LA VISUALIZZAZIONE/OPTOELETTRONICA

### Futaba

**FUTABA Co - GIAPPONE**

- Displays vacuum fluorescent
- Moduli display vacuum fluorescent alfanumerici e grafici
- Moduli emulatori LCD



**BOLYMIN - TAIWAN**

- Moduli alfanumerici LCD STN e FSTN
- Moduli grafici LCD STN - FSTN e COG
- Moduli OLED alfanumerici e grafici



**OPTO DIODE CORP.**

**OPTO DIODE Co - USA**

- Diodi emettitori all'infrarosso (GaAlAs)
- Diodi ricevitori all'infrarosso
- Custom 780-905 nmt
- Prodotti a standard Mil e Hi-rel



**PROMATE  
ELECTRONIC CO., LTD.**

**PROMATE Electronic Co. Ltd - TAIWAN**

- Moduli LCD TFT di dimensioni comprese tra 1.5" e 45" per applicazioni industriali, audio/video, monitor, ecc
- Schede grafiche per pannelli TFT di piccole e grandi dimensioni con ingressi analogici e digitali
- Accessori vari per moduli TFT quali inverters, cavi di collegamento, OSD software, TouchScreen, ecc.



**APEX**

**APEX Science & Engineering Co - TAIWAN**

- LED ad alta luminosità
- LED SMD
- LED DOT matrix display
- LED Display a 7 segmenti
- Moduli alfanumerici e grafici LCD



**TT electronics  
OPTEK Technology**

**OPTEK Technology Inc - USA**

- Fotoemettitori e fotoricevitori all'infrarosso in package plastico e metallico
- Sensori optoelettronici riflessivi e trasmissivi (standard e custom)
- Dispositivi ibridi e monolitici per encoder ad alta risoluzione
- Optoisolatori
- Dispositivi per trasmissione dati su fibra ottica (trasmettitori, ricevitori e transricevitori)

**COTCO**



**COTCO International Ltd. - HONG KONG**

- LED SMD ad alta efficienza monocolori per applicazioni backlight, automotive ed industriali
- LED SMD ad alta efficienza tricolori (RGB) per messaggistica, pannelli stradali e display di grandi dimensioni



**RITEK GROUP  
RiTdisplay**

**RITDISPLAY Co - TAIWAN**

- Moduli OLED sia monocromatici (verde, blu, etc) che full colour (65000 colori) con risoluzione comprese tra 80x48 e 128x64

**XIAMEN  
OCULAR**

**XIAMEN OCULAR LCD DEVICES Ltd - CHINA**

- Pannelli LCD TN
- Moduli alfanumerici TN e STN
- Moduli grafici STN

Kevin Schurter è  
un'azienda certificata  
da SGS ISO 9002

Per informazioni tecniche, commerciali o per campionature telefonate a:  
02 30465311 o visitate il sito

**www.kevin.it**



Rubrica di  
appuntamenti,  
manifestazioni ed  
eventi nel mondo  
dell'elettronica

# Gli eventi di MARZO 2006

**04-05 MARZO 2006**

## EXPO ELETTRONICA FAENZA



Expo Elettronica a Faenza è uno degli appuntamenti più noti e frequentati sia per l'elettronica di consumo sia per prodotti rivolti ad un pubblico più esperto. Nella sola giornata di Sabato, negli spazi esterni, si svolge il mercatino di RadioExpo' dedicato a surplus, radio d'epoca e altri 'cimeli'. Sul sito degli organizzatori è possibile scaricare il biglietto ridotto per l'ingresso alla manifestazione. Sul sito [www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it) è possibile scaricare il biglietto per l'ingresso ridotto ed altre notizie.

*Informazioni utili:*

**Faenza Fiere – Faenza (RA)**

Organizzazione Blu Nautilus

[www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it) - Tel. 0541.53294

Orario dalle 9:00 alle 18:00

€ 7,50

*Principali espositori:*

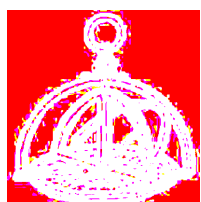
Ennedi Instruments - [www.ennedi-instr.com](http://www.ennedi-instr.com)

LGA GROUP - [www.lgagroup.com](http://www.lgagroup.com)

**Codice MIP 249301**

**11-12 MARZO 2006**

## XXVI^ MOSTRA NAZIONALE MERCATO RADIANTISTICO



Mostra mercato dedicata ai seguenti settori merceologici: elettronica, video, strumentazione, hi-fi, componentistica, computer, radio d'epoca.

Contestualmente alla mostra si potrà visitare una esposizione di radio d'epoca organizzata dalla A.I.R.E, il 12° radiomercatino di Portobello e, il giorno 11 Marzo, il DX & Contest Corner 2006.

*Informazioni utili:*

**Centro Fiera del Garda – Montichiari (BS)**

Organizzazione Centro Fiera Del Garda

[www.centrofiera.it](http://www.centrofiera.it) - Tel. 030.961148

Orario dalle 9:00 alle 18:30

€ 6,00

**Codice MIP 249302**

**18-19 MARZO 2006**

## TECNOAQUI 2006



La quarta edizione della mostra mercato "TECNOACQUI" si terrà nei ex locali della storica coltelleria Kaimano, ora centro attrezzato per fiere e convegni, sito in via M. Ferraris ad

Acqui Terme (AL). Nei giorni di sabato 18 e domenica 19 marzo i visitatori potranno entrare in la fiera dalle ore 9.00 fino alle ore 18.00 con orario continuato. La fiera tratta materiale nuovo ed usato del settore informatico, radio, televisivo, elettronico, telefonico, satellitare, con stand dedicati agli astrofili. È stato inoltre allestito uno spazio per una mostra scambio riservata a radioamatori e hobbisti.

*Informazioni utili:*

**Centro Fiere "Ex Caimano" – Acqui Terme (AL)**

Organizzazione Massa Mauro Informatica

[www.tecnoacqui.it](http://www.tecnoacqui.it) - Tel. 0144.325402

Orario dalle 9:00 alle 18:00

€ 2,50

**Codice MIP 249303**

**18-19 MARZO 2006**

## EXPO ELETTRONICA BASTIA UMBRA



Al quartiere fieristico Umbria Fiere, per gli appassionati di tecnologia e musica: ritorna la due giorni di Expo Elettronica. Quello di Bastia Umbra è l'unico

appuntamento di settore in tutta la regione e vedrà la partecipazione di un centinaio di espo-



Sei l'organizzatore di una manifestazione del settore?  
Registrala all'indirizzo [www.farelettronica.com/eventi](http://www.farelettronica.com/eventi)  
e sarà pubblicata gratuitamente in questo spazio!

sitori, provenienti da tutt'Italia, con una vasta gamma di prodotti elettronici e tecnologici: software, periferiche, accessori, materiali di consumo e ricambi, elettronica «fai da te» con kit per auto costruzione, surplus, schede, circuiti; ricetrasmittenti Om, CB e componentistica per l'utilizzo radioamatoriale.

Altrettanto ricche sono le proposte "a portata di tutti": telefonia, antenne e decoder per la tv digitale, lettori dvd, hi-fi, video proiettori, videogiochi, gadget, curiosità e addirittura piccoli elettrodomestici. Per gli amanti della musica, e non soltanto, imperdibile è la mostra mercato di dischi e cd usati e da collezione, ospite di Expo Elettronica, luogo ideale deputato all'acquisto, scambio e valutazione di dischi, CD e rarità. Sul sito [www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it) è possibile scaricare il biglietto per l'ingresso ridotto ed altre notizie.

*Informazioni utili:*

**Umbria Fiere - Bastia Umbra (PG)**

Organizzazione Blu Nautilus

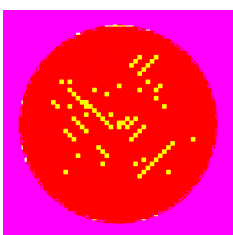
[www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it) - Tel. 0541.53294

Orario dalle 9:00 alle 18:00

€ 7,00

**Codice MIP 249304**

## **24-25 MARZO 2004 FIERA DELL'ELETTRONICA E DEL RADIOAMATORE**



I visitatori della Fiera dell'Elettronica e del Radioamatore, potranno trovare una vastissima gamma di prodotti tra i quali spiccano: materiale elettronico, computer,

software, materiale radioimpiantistico, surplus, componentistica, telematica, decoder, parabole e telefonia con la partecipazione del-

l'editoria specializzata. Forte l'informatica e la telefonia mobile, grandi protagonisti dei nostri tempi, che vedono aumentare il numero degli espositori rispetto alle precedenti edizioni. La rassegna fornirà anche una panoramica didattica-educativa con la presenza di numerosi editori di riviste e testi specializzati.

*Informazioni utili:*

**Parco Fiera Millenaria Gonzaga (MN)**

Organizzazione Fiera Millenaria di Gonzaga

[www.fieramillenaria.it](http://www.fieramillenaria.it) - Tel 0376.58098

Orario dalle 8:30 alle 18:00

€ 7,00

**Codice MIP 249305**

## **01-04 APRILE 2006 EXPO ELETTRONICA**



EXPO ELETTRONICA (ex ABC dell'Elettronica) ad Erba (Como) si svolge due volte all'anno, in primavera ed in autunno. Oltre alle merceologie "tradizionali" proposte da questo tipo di

manifestazioni, quali computer, elettronica in genere, radiantismo, telefonia, surplus... nonché radio d'epoca, dischi e CD da collezione. Certamente non mancano i buoni motivi per andare a dare un'occhiata; ci saranno buoni affari sia per gli esperti sia per i neofiti! Sul sito [www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it) è possibile scaricare il biglietto per l'ingresso ridotto ed altre notizie.

*Informazioni utili:*

**Lario Fiere - Erba (CO)**

Organizzazione Blu Nautilus

[www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it) - Tel. 0541.53294

Orario dalle 9:00 alle 18:00

€ 8,00

**Codice MIP 249306**

*Se sei un espositore e vuoi comparire gratuitamente in questo elenco, registrati all'indirizzo [www.farelettronica.com/eventi](http://www.farelettronica.com/eventi)*

Prima parte  
n° 249 - Marzo 2006  
**Riduttore di tensione per  
lampade automobilistiche**

Seconda parte  
n° 250 - Aprile 2006  
**Riduttore di tensione con  
PICmicro, per lampade  
automobilistiche**

# Riduttore di tensione

**U**na recente modifica alle norme del codice della strada dispone l'accensione dei fari anabbaglianti, anche nelle ore diurne, su tutte le strade extraurbane. L'uso intensivo dei fari accelera però la fine delle lampade, con il conseguente aumento delle spese generali di manutenzione del veicolo e, soprattutto, con l'aumento del rischio di trovarsi senza luci quando sono indispensabili, cioè di notte. Ma la tecnica elettronica può aiutarci. Limitando anche di poco la tensione applicata, si può aumentare in modo significativo la vita delle lampade, senza diminuirne, in modo altrettanto significativo, la visibilità.

Questo è il compito affidato ai circuiti che propongo e che sono stati progettati per le auto che montano fari con lampade tradizionali funzionanti a 12Vdc, come le biluce **H4** e **R2** e le monoluce **H7** e **H1**, indicate in figura 1.

Le Lampade sono caratterizzate da diversi parametri. Quelli che interessano la costruzione di questo dispositivo limitatore sono:

- **Tensione di alimentazione** che è il valore fornito dal costruttore: nel nostro caso è di 12Vdc.

- **Potenza elettrica**, che come tutti sanno, si misura in Watt ed è la potenza elettrica assorbita dalla lampada alla tensione nominale di 12Vdc.
- **Vita**, espressa in ore (H)

La vita delle lampade è definita da vari parametri, il più importante è **TC**, che rappresenta la vita media in ore del 63% del campione di lampade sottoposte al test. Il campione di Lampade viene alimentato ad una tensione, detta di Test ( $V_t$ ), che per il mercato Europeo è 13,2 Volt. Dal catalogo *Osram*, consultabile anche su Internet, si nota che per la lampada Osram H4 Normale, è indicato il seguente valore di TC:

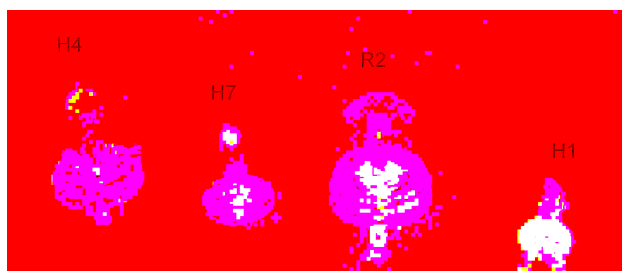
$$TC = 400/900$$

e cioè 400 ore per l'abbagliante e 900 per l'anabbagliante.

Durante l'uso del mezzo avviene una sostanziale variazione della tensione di alimentazione, rispetto al valore della Tensione di Test ( $V_t$ ), per cui varieranno dinamicamente i vari parametri considerati.

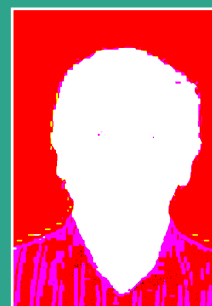
I grafici di figura 2, 3 e 4 indicano rispettivamente la variazione della potenza assorbita e della durata in funzione della tensione applicata (VA).

Il grafico della "Vita" di figura 3 indica chiaramente che se una lampada è alimentata con una tensione di 14-14,5 Volt, condizione che si può verifi-



**Figura 1** Lampade Alogene utilizzate nei fari delle auto

# per lampade automobilistiche



di Rossano Zanardi

care facilmente con auto aventi batteria, circuito di ricarica e cablaggio elettrico perfettamente efficienti, teoricamente ha la durata dimezzata.

Nel grafico di figura 4 è visualizzata la sensibile riduzione della vita nell'intervallo di tensione VA che va da 13 V. a circa 15 V.

Abbassando invece la tensione e portandola a 11,5–11,0 Volt, si nota che la vita si allunga rispettivamente di 5/8 volte quella stabilita per la tensione di test di 13,2V.

Contemporaneamente alla diminuzione della tensione applicata cala il flusso luminoso emesso, ma questo non ne pregiudica la visibilità. Infatti, di giorno l'occhio di un automobilista deve percepire la "luminanza" dei fari di un'auto incrociante e non l'illuminazione riflessa di una strada percorsa di notte.

Inoltre l'entità di questa percezione è regolata da una complessa funzione logaritmica, dipendente da vari fattori fra i quali, importante, è la Luminanza dello sfondo o dell'ambiente.

Per limitare una tensione si possono utilizzare vari metodi, noi ne considereremo due:

**1. Metodo resistivo:** consiste nell'inserire una resistenza di opportuno valore in serie

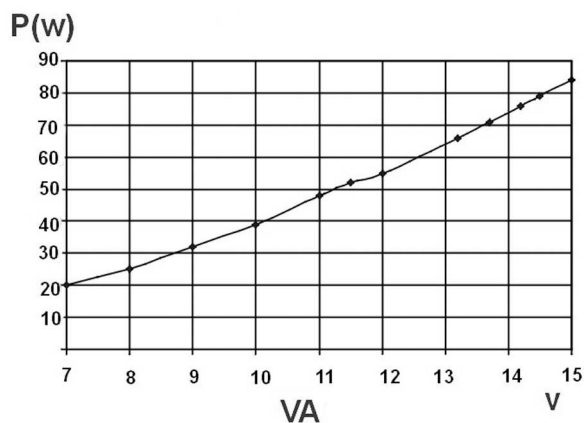


Figura 2 Variazione della Potenza dissipata in Funzione di VA

alla Lampada.

**2. Metodo PWM:** consiste nell'alimentare le lampade con impulsi di tensione in cui si può variare la parte attiva dell'impulso (ON) rispetto alla parte inattiva (OFF).

In questa prima parte sarà descritto un circuito

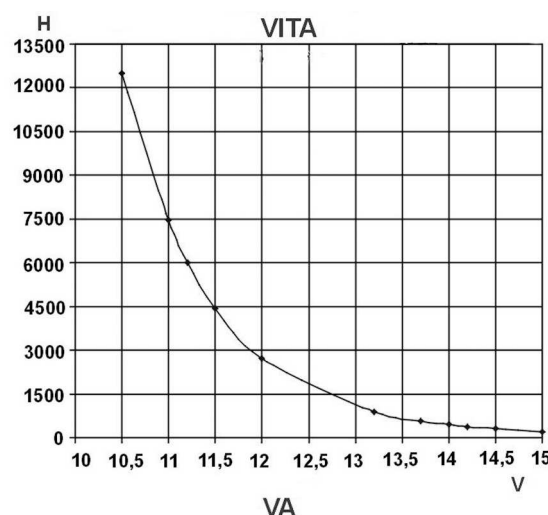


Figura 3 Variazione della Vita in ore della Lampada al variare di VA

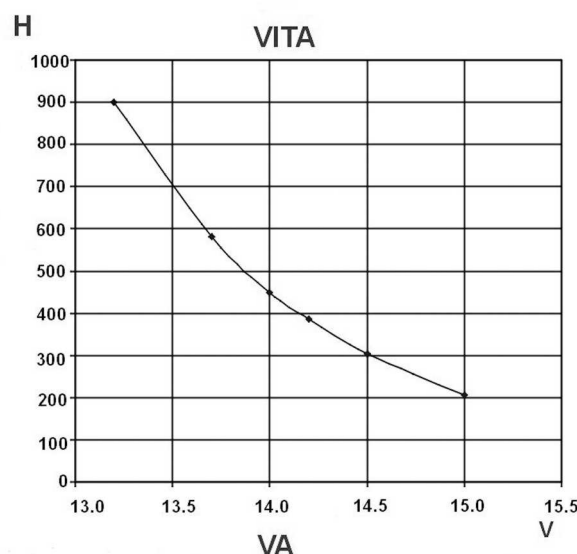


Figura 4 Consistente diminuzione della Vita al variare di VA fra 13V e 15V

che utilizzerà il metodo resistivo.

In figura 5 è schematizzato il collegamento dei fanali. Questi, a seconda del tipo di auto, possono avere il terminale comune, nel caso delle H4 o R2, od un terminale, nel caso delle monoluce tipo H1 o H7, collegato direttamente a Massa oppure al +12Vdc.

## SCHEMA ELETTRICO

Come indicato in figura 6, i punti J1÷J4 sono collegati in serie al filo del fanale sinistro e J5÷J8 sono collegati in serie al filo del fanale destro.

Fra i punti J2 e J3 e fra J6 e J7 il lettore può inserire una resistenza di 0,47W o 0,68W (25W blindate); si possono utilizzare resistori di valore minore o maggiore, ma, in quest'ultimo caso, si dovranno dissipare potenze notevoli.

## Uso notturno

Con l'interruttore INT aperto, il circuito non è alimentato ed i relè **K1** e **K2** con i contatti 1-4 a riposo, cortocircuitano le resistenze **RS** e **RD**. In queste condizioni, si possono accendere e spegnere i fanali normalmente a cui, tramite il cortocircuito delle resistenze **RS** e **RD**, giunge tutta la tensione di alimentazione disponibile.

## Uso diurno

Per avere l'illuminazione diurna a tensione ridotta, basta chiudere l'interruttore INT e si alimenta, tramite il fusibile F1 ed il diodo D1 l'ingresso del regolatore U3, che fornisce all'uscita una tensione stabilizzata di 9,6V, aiutato dal diodo D2 posto in serie al terminale di Massa.

La tensione di Batteria di 12,5Volt, tramite i diodi D3 e D4, alimenta anche il punto **R** del connettore CNV, un connettore maschio a 3 poli a cui sarà collegato il connettore femmina di una ventolina, con relativo dissipatore, del tipo utilizzato per raffreddare le CPU dei moderni computer. Sul dissipatore vanno montate le resistenze di caduta **RS** e **RD**.

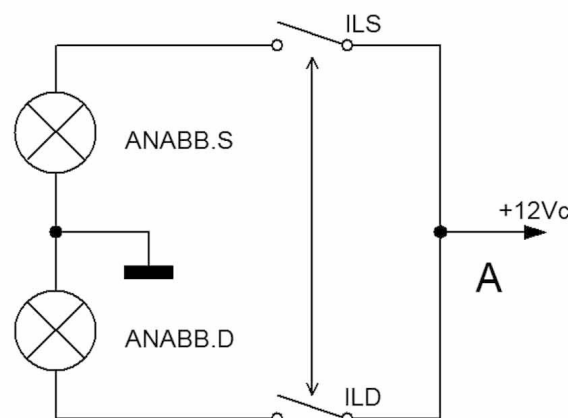
L'uso di dissipatori senza ventilazione è da evitare, soprattutto se il dispositivo verrà installato nel vano motore, che è già abbastanza caldo. *Io ho scelto appunto un dissipatore con ventola per CPU.*

Naturalmente bisogna garantire che, qualora la ventola cessi di funzionare, per non surriscaldare il tutto, si ripristini il circuito originale, disec-

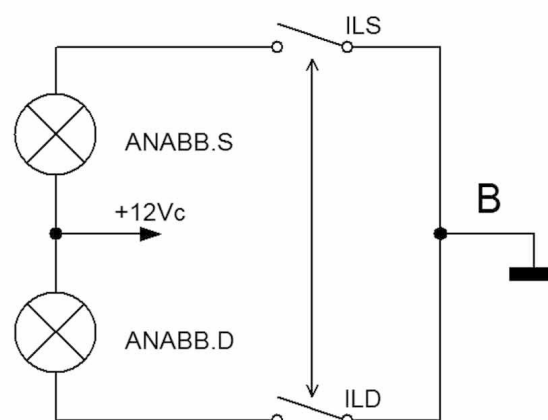
citando i relè **K1** e **K2**.

Il termostato **T1**, normalmente chiuso, porta la polarità positiva sui relè **K1** e **K2**. Se la ventola ha il terzo filo, normalmente di colore giallo, utilizzato nei computer per il controllo della rotazione, si possono prelevare degli impulsi che, opportunamente trattati da R1-C4-R2-D5-R3, formano una tensione continua di circa 3-4V. ai capi di C5, che polarizza, tramite D6 e R4, il darlington Q2, chiudendo il circuito per i relè **K1** e **K2**.

I relè tolgono il c.c. alle resistenze **RS** e **RD** e le lampade sono così alimentate a tensione ridotta. Contemporaneamente, circolando corrente in **RS** e **RD**, si genera una tensione che, applicata tramite R5 e R6 ai diodi emettitori dei fotoaccoppiatori U1 e U2, ne manda in conduzione il transistor di uscita, polarizzando le resistenze **R7**



ILS/ILD=Interruttore Luci An.



A: Term. comune a Massa

B: Term. comune a +12V

Figura 5 Modalità di collegamento dei fari sulle auto



Milano, 20 - 23 Settembre 2006

www.fieremestre.it

Il più importante  
evento di settore  
per le aziende che  
operano nel settore  
della tecnologia  
della stampa

**Motion Control**

Il più importante evento di settore per le aziende che operano nel settore della tecnologia della stampa



Il più importante evento di settore per le aziende che operano nel settore della tecnologia della stampa



Il più importante evento di settore per le aziende che operano nel settore della tecnologia della stampa



**BIMAN**

Il più importante evento di settore per le aziende che operano nel settore della tecnologia della stampa

**Eni Ingegneria**



**Eventi di  
collaborazione**



www.fieremestre.it

Il più importante evento di settore per le aziende che operano nel settore della tecnologia della stampa



**Qui si decide  
Chi c'è, sviluppa il suo business**

Il più importante evento di settore per le aziende che operano nel settore della tecnologia della stampa



**2006**  
20 - 23 Settembre

**www.fieremestre.it**

Codice MIP 249025

e R8 con una tensione sufficiente a mantenere a livello "alto" gli ingressi (1-2) di U4/a. U4 è una quadrupla porta NAND Trigger; se entrambi gli ingressi di U4/a sono a livello alto, l'uscita è bassa, e quindi sul piedino (11) di U4/d è presente una tensione sufficiente a pilotare il transistor Q1; ciò provoca l'accensione a luce fissa del LED: **questa è l'indicazione di funzionamento regolare.**

U4/b e U4/c sono collegati a R9, R10, R11, C8, C9 in una configurazione tipica di multivibratore astabile a circa 2,5Hz. Gli impulsi vengono applicati al piedino 13 di U4/d, ma possono raggiungere il transistor Q1 solo se sul piedino 12 di U4/d è presente un livello alto. Questa condizione si raggiunge se uno dei due ingressi (o entrambi) di U4/a va a livello basso, in seguito alla interruzione di corrente sul ramo J4-J3-J2-J1 o sul ramo J8-J7-J6-J5.

**Quindi lo spegnimento di un fanale è evidenziato, sul cruscotto dell'autovettura, dal lampeggiamento del Led con la cadenza di circa 2,5Hz.**

Come indicato in figura 5, le lampade possono avere un terminale collegato direttamente a massa oppure al positivo. Quindi i fotoaccop-

piatori U1 e U2 sono attivati in un senso o nell'altro, dall'applicazione sui terminali J4 e J8 del +12V o della massa.

Un aumento anomalo di temperatura sul dissipatore viene controllato dal termostato (T1), che si apre quando rivela una temperatura di 60°/70°, diseccitando quindi i relè K1 e K2.

La *Distrelec* fornisce un termostato che apre a 70° e si autoripristina solo togliendo l'alimentazione al circuito. Questa funzione può essere utile in caso di ripetuti surriscaldamenti.

La serie dei diodi D3 e D4 cortocircuitabile, protegge la ventola da tensioni eccessive provenienti dalla batteria in carica.

Nei punti S1- S2 si può inserire un altro termostato (T2), togliendo naturalmente il diodo D4; questo componente può attivare una ventola, senza il controllo di rotazione, quando la temperatura sul dissipatore ha raggiunto ad esempio i 50°, con il ponticello JM1 naturalmente chiuso e con T1 sempre pronto a ripristinare l'alimentazione originale dei fari diseccitando i relè K1 e K2.

Si può notare che il circuito è molto versatile ed ognuno, scegliendo la temperatura di interven-

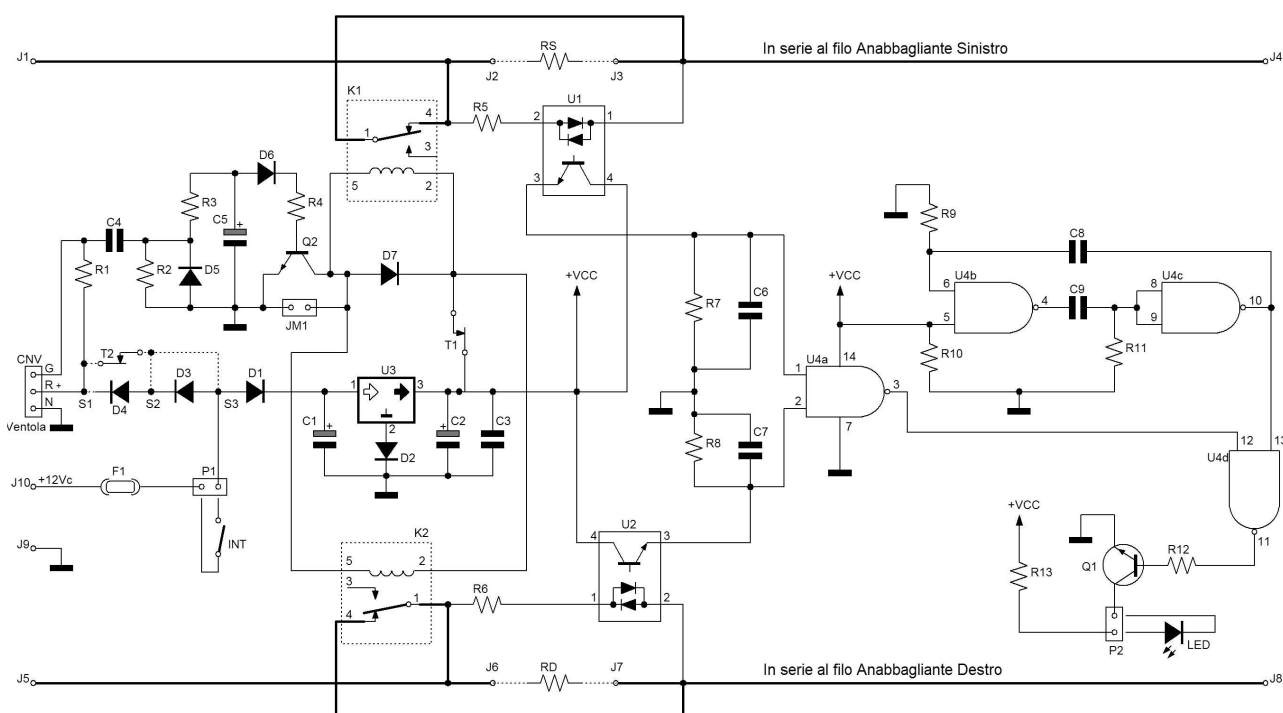


Figura 6 Schema elettrico

ELENCO COMPONENTI	
R1, R3, R4, R10, R12	10 K $\Omega$ 1/4 W
R2	100 K $\Omega$ 1/4 W
R5, R6	47-68 $\Omega$ 1/4 W (vedi testo)
R7, R8	1 K $\Omega$ 1/4 W
R9, R11	470 K $\Omega$ 1/4 W
R13	470 $\Omega$ 1/4 W
RCC1	0 $\Omega$ (ponticello di collegamento)
RS/RD	0.47 $\Omega$ 25 W con dissipatore metallico (Cod. Distrelec: 720474)
RS/RD	0.68 $\Omega$ 25 W con dissipatore metallico (Cod. Distrelec: 720475)
C1	470 $\mu$ F 25 V elettrolitico
C2	220 $\mu$ F 16 V elettrolitico
C3	100 KpF 63 V poliestere
C4, C8, C9	470 KpF 63 V poliestere
C5	10 $\mu$ F 16 V elettrolitico
C6, C7	10 KpF 63 V poliestere
D1÷D4, D7	1N4003 o equivalente
D5, D6	1N4148
D8	Led
Q1	BC 237 o equivalente
Q2	BC 517
U1, U2	PC814 o equivalente (Cod. Distrelec: 630281)
U3	7809
U4	CD4093
K1, K2	Relè 16V/15A (Cod. RS Components: 217-2876)
T1 ()	Termostato N.C. apre a 60° (Cod. Distrelec: 240250)
T1 ()*	Termostato N.C. apre a 70° (Cod. Distrelec: 240264) (vedi testo)
T2()	Termostato N.A. chiude a 50° (Cod. Distrelec: 240430)
	Fascetta di fissaggio termostati (Cod. Distrelec: 240280)
F1	Fusibile 0.8 A con portafusibile (5x20)
P1, P2	Morsettiere 2 Poli
CNV	Connettore maschio 3 poli da C.S per ventole CPU
-	Ventola per CPU con dissipatore (tipo quelle per Pentium III)



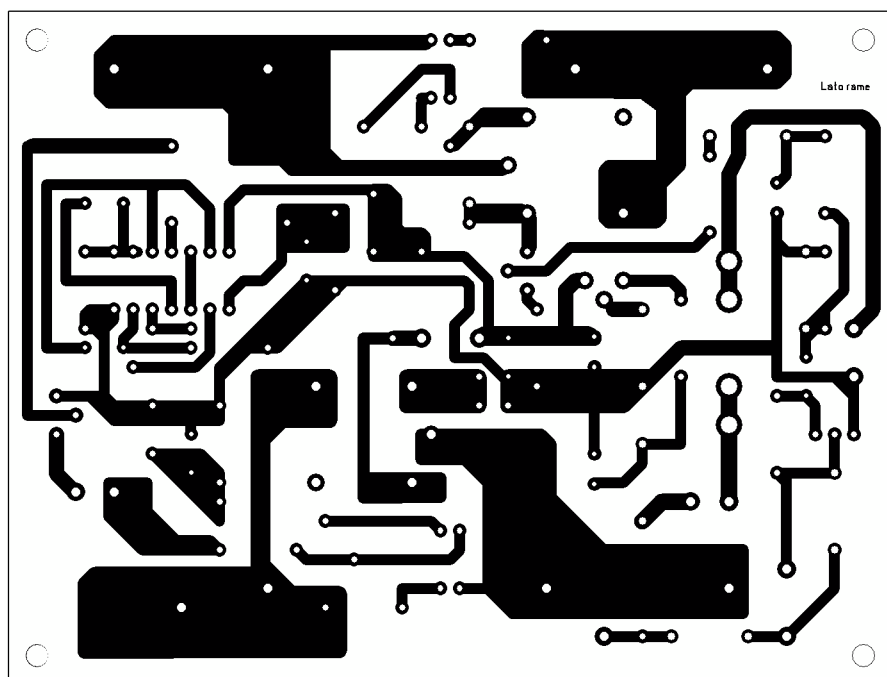


Figura 7 Circuito stampato in scala 1:1 (lato rame)

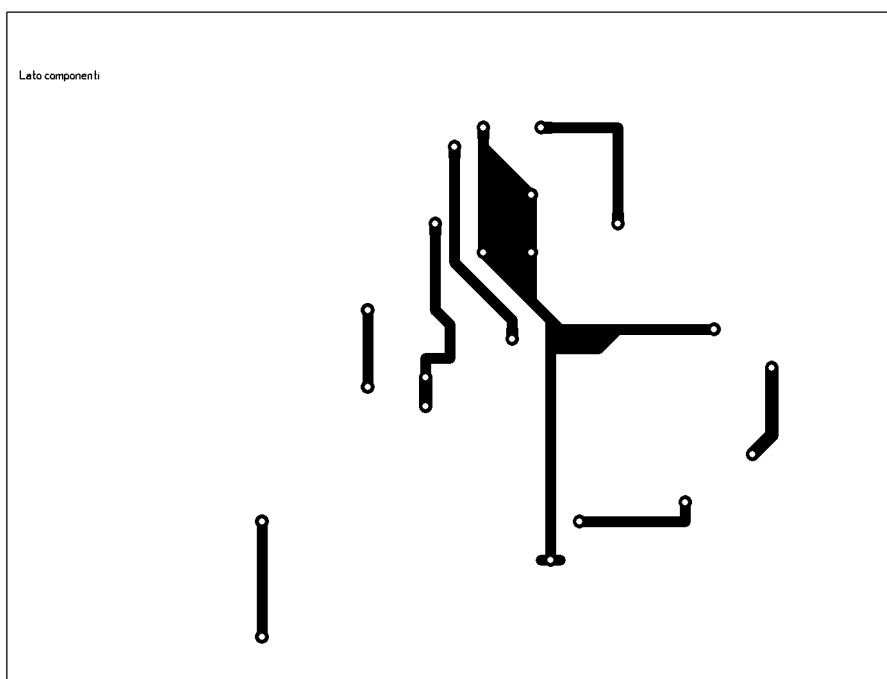


Figura 8 Circuito stampato in scala 1:1 (lato componenti)

to dei termostati (intervendendo sul ponticello JM1 e sui punti S1÷S3) ne può personalizzare il funzionamento, adattandolo alle proprie necessità.

## MONTAGGIO

Per chi intende costruirsi il circuito stampato, in figura 7 e figura 8 sono raffigurati rispettiva-

mente il lato rame ed il lato componenti delle piste. In figura 9 è raffigurata invece il piano di montaggio.

Il montaggio dei componenti non riveste particolari difficoltà. I mini-relè K1 e K2 e i fotoaccoppiatori è bene saldarli direttamente sul circuito stampato, garantendo così una solidità ottimale.

Le resistenze R5 ed R6 è bene siano da  $47\Omega$  per  $RS/RD=0,47\Omega$  e di  $68\Omega$  per  $RS/RD=0,68\Omega$ .

La foto del prototipo di figura 10 indica il montaggio delle resistenze RS e RD sul dissipatore. Le resistenze sono state fissate con viti autofilettanti, interponendo fra il corpo metallico della resistenza ed il dissipatore un po' di pasta al silicone, per favorire la trasmissione del calore.

Il Termostato T1 è ancorato al dissipatore con una fascetta metallica di fissaggio e una vite autofilettante. Una volta saldati tutti i componenti, fissato sul dissipatore le resistenze RS e RD, il termostato T1 ed eventualmente il termostato T2, si procederà al collegamento, con corti spez-

zioni di filo aventi diametro di 0.5-0,8mm, di RS e RD rispettivamente nei punti J2, J3 e J6, J7 del C.S.

Nei punti J9 e J10 vanno saldati in ordine i fili per il collegamento di Massa, che può essere il negativo della batteria o la massa della carrozzeria, e per il +12Vdc. È ovvio che se si usa una ventola senza il controllo tachimetrico (terzo filo normalmente di colore giallo), si può evitare di



© 2006 Pearson Education, Inc.

1571616000

**30 minutes**

23 maggior

## References

2023 September

**OPEN**

**November/December**

0110010101010  
1011001010101  
0101100101010  
1010110010101  
0101011010101  
0010101100101  
1010101100101  
0110101101010  
1010101



# E.E.S.

# Elaborazione Forme Elettromagnetiche nell'Antenna

Milano, 30 marzo 2006

## Palazzo Turati

Ingresso gratuito previa registrazione su [www.fortronic.it](http://www.fortronic.it)

Codice MIP 249029



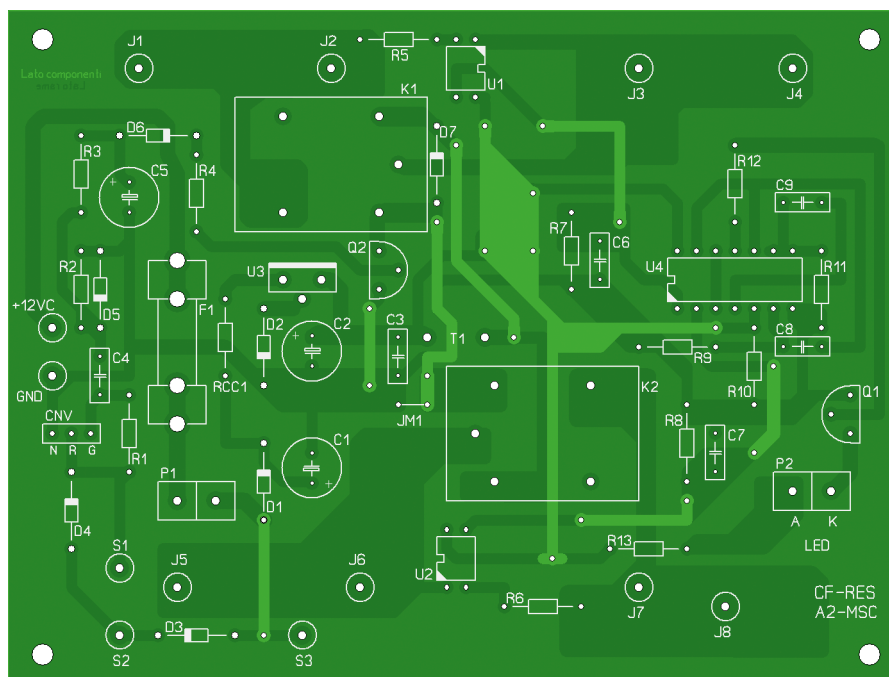


Figura 9 Piano di montaggio

montare tutto il circuito di controllo gestito da R1-C4-R2-D5-R3-C5-D6-R4-Q2 (ricordarsi di chiudere JM1, per garantire la eccitazione dei relè K1 e K2).

Nei fori indicati con J1, J4 e J5, J8 vanno saldati spezzoni di filo con diametro di 0.8-1.0 mm. Il circuito completo va inserito in un apposito contenitore, (vedi figura 11) praticando sul coperchio, o su un lato, un foro adeguato alle dimensioni della ventola.

I fili dell'interruttore "INT" vanno collegati sul circuito alla morsettiera P1, mentre quelli del LED (attenzione alla polarità), vanno collegati

alla morsettiera P2.

Non dimentichiamo inoltre di praticare nel contenitore altri fori, sia per le uscite dei cavetti, sia per permettere la circolazione dell'aria aspirata dalla ventola, che va protetta. Io ho incollato una ghiera direttamente sul coperchio con alcune gocce di collante rapido, con un ottimo risultato (figura 11).

## INSTALLAZIONE SULL'AUTOVETTURA

Dopo aver portato 4 fili, 2 per l'interruttore INT, e due per il LED, dal cruscotto dell'auto al vano motore, fissare stabilmente il conte-

nitore in una zona possibilmente non sottoposta al calore diretto del motore. A questo punto non resta che eseguire i collegamenti elettrici. Dapprima, è bene verificare se il circuito dei fanali è riconducibile alla sezione A o B della figura 5. Credo che alcune marche di auto di produzione asiatica usino il sistema B.

In figura 12 sono evidenziati i terminali delle luci abbaglianti ed anabbaglianti di una H4.

Individuati quindi i fili che alimentano l'anabbagliante sinistro e destro, tagliarli e collegare in serie i fili provenienti dai punti J1-J4 e J5-J8, come disegnato in figura 13. Quindi si colleghe-

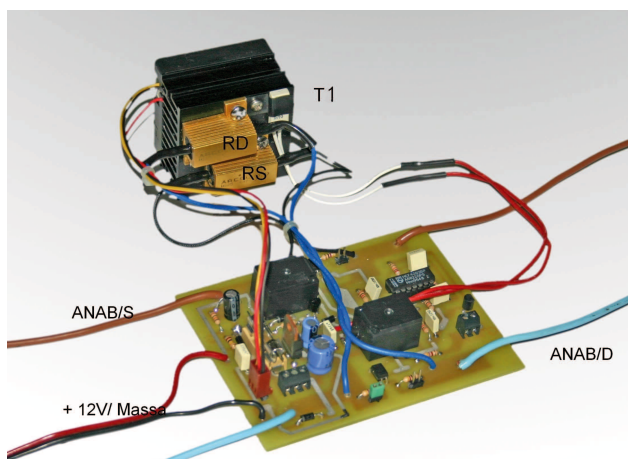


Figura 10 Prototipo Sperimentale

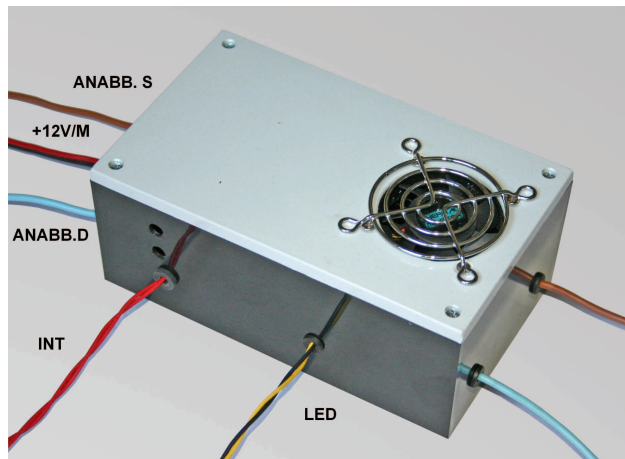


Figura 11 Prototipo completo, pronto per l'installazione sull'auto

ranno i fili dell'alimentazione ad un punto di massa della carrozzeria ed ad un morsetto del cablaggio dell'auto dove sono presenti 12 Volt alla rotazione di uno scatto della chiave di accensione, oppure quando si accendono le luci di posizione. Può essere fatto anche un collegamento diretto con la batteria, ma in questo caso il fusibile F1 deve essere volante e posizionato nei pressi del polo positivo della stessa, a protezione del cavetto di collegamento. È ovvio che al posto di F1 sul C.S. deve essere inserito un ponticello o una RCC a 0Ω.

Dopo una rapida controllata, si può passare al collaudo.

Accesa l'auto e azionato l'interruttore dei fanali, si noterà che essi si illumineranno con la luce originale; chiudendo l'interruttore INT, si sentirà lo scatto dei relè K1 e K2 e, se tutto è regolare, il Led si accende a luce fissa. Nel frattempo il dissipatore è raffreddato dalla ventola.

Se i fari sono dotati di lampade H4 o H7, la tensione applicata sarà ridotta di circa 2 volt se  $RS/RD=0,47\Omega$  e di circa 3 volt se  $RS/RD=0,68\Omega$ .

Ora stacchiamo il connettore di un fanale, simulando una lampada bruciata, ed il Led lampeggerà avvisando di un guasto in atto.

*Per finire rammento che la vita di una lampada non dipende solo dalla tensione di funzionamento, ma anche da altri fattori come il numero delle accensioni, le vibrazioni e naturalmente la cura costruttiva.*



Figura 12 Terminali della Lampada H4



# CadSoft EAGLE

## PCB Layout-Schematic-Autorouter

### Low-Cost per Windows, Linux e Mac OS

Distribuito da: PRECMA S.r.l. - Electronic Engineering  
<http://www.precma.it/> 039/5300590

Veloce, Stabile, Intuitivo, Potente, Espandibile  
 Manuali e supporto gratuito in italiano

Codice MIP 249031

## CONCLUSIONI

Spero che questa prima parte del progetto sia stata di vostro gradimento, nella prossima puntata esamineremo come controllare l'accensione delle lampade risparmiandogli, nel limite del possibile, lo stress iniziale, ed affideremo il controllo completo dei fanali ad un microprocessore, il PIC16F84 della Microchip, che avrà l'onere di gestire, assieme a due mosfet, il funzionamento notturno e diurno, con una minima dissipazione di calore. Vi rinnovo quindi l'appuntamento al prossimo numero e vi rammento che:

**La legislazione Italiana non consente, per ora, di ridurre durante le ore diurne, la potenza dei fanali. Si declina quindi ogni responsabilità in merito ad implicazioni legali, che possano eventualmente sorgere in seguito all'installazione ed all'uso di questa apparecchiatura.**

Codice MIP 249022

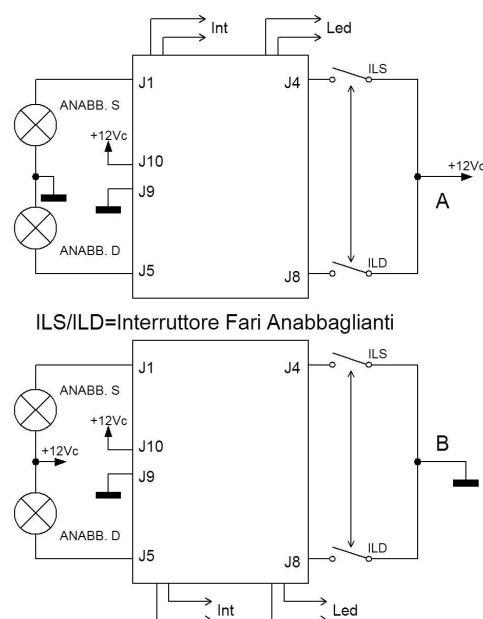


Figura 13 Inserimento del dispositivo Limitatore in serie ai fari anabbaglianti

# Dal disco cifrante

## di L. B. Alberti

**A**lcuni passaggi importanti della storia della crittografia, a partire dal disco cifrante di Leon Battista Alberti ad Enigma, la macchina cifrante che, punto di forza delle comunicazioni del Terzo Reich, si rivelò un grosso vantaggio per gli alleati nel corso della Seconda Guerra Mondiale. Una delle più affascinanti storie "tecnologiche", che ha inciso notevolmente sull'esito della guerra e sulla vita di milioni di persone.

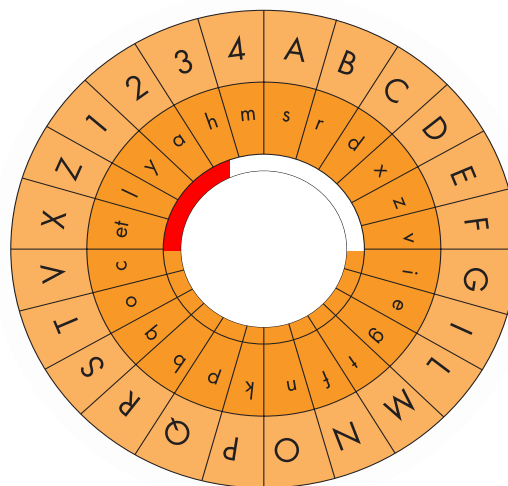
Il cifrario di Leon Battista Alberti, pensato appositamente per il Vaticano, era composto da una coppia di cerchi concentrici di cui il cerchio esterno fisso, mentre quello interno mobile. Sul cerchio più esterno si trovavano i numeri da 1 a 4 e le lettere dell'alfabeto, meno quelle di più bassa frequenza di utilizzo quali H, J, Q, W e Y che per la loro bassa frequenza di utilizzo avrebbero sicuramente indebolito il cifrario. Nel cerchio esterno quindi abbiamo 24 caselle con i numeri da 1 a 4 e le lettere dell'alfabeto in ordine, mentre nel disco interno, mobile, abbiamo 20 caselle contenenti le lettere dell'alfabeto in disordine che rappresentano il testo cifrato (vedi figura 1).

Funzionamento: fissata una lettera maiuscola, per es. B, come indice si deve spostare il disco mobile interno e scrivere come prima lettera del messaggio cifrato, la lettera minuscola che corrisponde alla B; quindi cifrare alcune parole con

la lista risultante. Quando si decide di cambiare la lista cifrante si scrive la nuova lettera chiave in maiuscolo in modo da indicare chiaramente al corrispondente il cambio di lista. Ciò fatto, si porta quella lettera ad affacciare l'indice B ed in questa nuova posizione si cifrano altre parole secondo la nuova lista.

Per aumentare la segretezza (le lettere maiuscole costituiscono un aiuto non solo per il corrispondente ma anche per il "nemico") l'Alberti suggerì di usare uno dei quattro numeri per segnalare il cambio di alfabeto; in tal modo la lettera minuscola corrispondente al numero sarà la nuova chiave; non vi sono quindi più lettere maiuscole e la cifra risulta così molto più sicura, e decisamente superiore a quelle che la seguirono nel tempo, e in particolare alla fin troppo famosa *Tavola di Vigenère*.

Si tratta in definitiva di uno dei cifrari polialfabetici più sicuri, che non ottenne il successo meritato anche per la decisione dell'Alberti di tenerla segreta. Il suo trattato, dove definì la tecnica crittografica, fu pubblicato solo un secolo più tardi a Venezia insieme ad altri suoi "opuscoli



**Figura 1** Il disco cifrante di Leon Battista Alberti

# ad Enigma



di Enrico Raffone

morali" e passò quasi inosservato. Quindi scambiando semplicemente una sequenza di qualche numero, gli utilizzatori di

questo cifrario potevano cifrare lo stesso messaggio con molteplici alfabeti segreti. In seguito gli studi di Leon Battista Alberti furo-

## UN ESEMPIO DI MESSAGGIO CIFRATO CON IL DISCO DI L. B. ALBERTI

Diamo un esempio per illustrare il funzionamento del disco dell'Alberti.

Si supponga di voler criptare la frase: "ATTACCATE DOMANI"

Useremo il suggerimento dell'Alberti per migliorare la sicurezza del messaggio. La prima cosa da fare è scegliere una lettera indice: (sia essa la B). Supponiamo ora di decidere che il messaggio inizi con la lettera c.

Questo indica che i dischi devono essere posti in modo che la c minuscola corrisponda alla B maiuscola.

Fatto questo leggiamo le lettere della parola ATTACCATE scrivendo quelle corrispondenti sul cerchio più piccolo:

**c qssq&&qsm**

Scriviamo ora la lettera a. Essa corrisponde al numero 3 e segnala che si vuole cambiare la lettera da porre in relazione con l'indice B.

Per proseguire la codifica sarà necessario far ruotare nuovamente i dischi.

**c qssq&&qsm a**

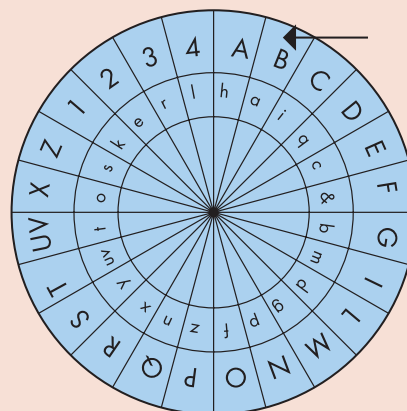
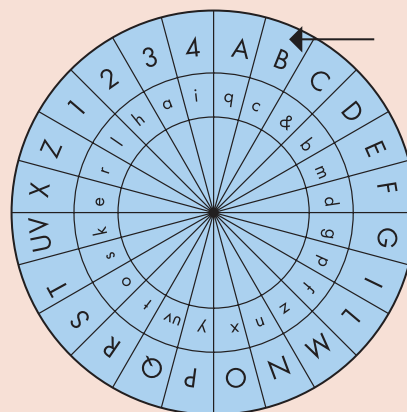
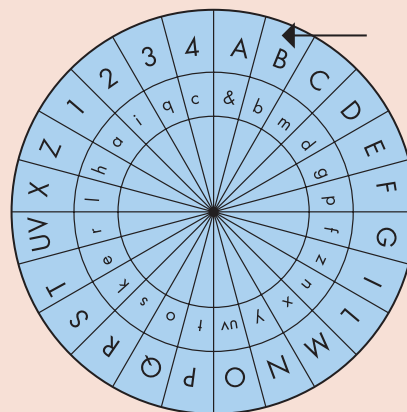
Proseguiamo la codifica della parola DOMANI. Essa diventerà:

**qfghpm**

E la frase completa sarà:

**cqssq&&qsmaqfghpm**

dove in colore sono state evidenziate le lettere di gestione dei dischi (solo per comodità di lettura). È ovvio che chi codifica il messaggio decide quante volte ruotare i dischi rendendo più difficile l'analisi del messaggio.



33

Speciale



no ripresi da altri studiosi, che, con alterne fortune, cercarono di perfezionare il più possibile la geniale intuizione dei cifrari polialfabetici. Tra questi ricordiamo Jacopo Silvestri di cui rimangono alcuni scritti in materia crittografica che comunque non riescono a migliorare le teorie di Alberti. Altri studiosi di tale materia sono stati l'abate *Johan von Heidenberg de Trittenheim*, meglio noto come *Tritemius*, ma anche *Giovan Battista Bellaso*, quindi *Giambattista della Porta* e il già citato *Blaise de Vigenère*.

Ognuno di questi illustri personaggi della storia della crittografia ha dato il suo contributo alla materia, ma bisogna ricordare in particolare Giovan Battista della Porta definito "il padre della crittografia moderna" a cui si deve la teorizzazione di un nuovo uso della parola chiave, ben più complesso di quello di Bellaso e il concetto base secondo cui ogni lettera della parola chiave deve corrispondere una sola lettera del testo in chiaro.

## LE MACCHINE CIFRANTI

Un'introduzione sul disco cifrante dell'Alberti e sui cifrari polialfabetici è utile al fine di introdurre le macchine cifranti. I cifrari polialfabetici sono alla base delle più famose macchine cifranti e tale legame si può notare soprattutto in tempo di guerra. Ci sono stati diversi esempi a partire dal 1891, anno in cui un comandante d'armi francese, tal Bazéries, inventò un'apparecchiatura votata all'utilizzo di cifrari polialfabetici. Nei primi del '900 si colloca, invece, la realizzazione di un'apparecchiatura cifrante denominata *scotografo* ad opera del colonnello italiano *Ducros*. Veniamo, quindi, ad una delle più famose se non la più famosa macchina crittografica mai costruita, Enigma. Tale dispositivo



Figura 2 Il logo di Enigma stampigliato come effigie della macchina

elettromeccanico era la macchina cifrante realizzata e utilizzata dal Terzo Reich negli anni precedenti e durante la Seconda Guerra Mondiale. Il fine di questa macchina era elevare il livello di sicurezza e rendere il significato dei messaggi non intelligibile a persone non autorizzate, la macchina veniva adoperata per "mascherare" un messaggio che un operatore telegrafico mandava ad un altro, cifrandone il contenuto. Quando un operatore utilizzava la macchina, digitava le lettere che costituivano il messaggio sulla tastiera della macchina (plaintext) e i meccanismi interni della stessa trasformavano quel testo in un altro apparentemente incomprensibile, il messaggio cifrato (ciphertext). La decodifica avviene ad opera della stessa macchina che può essere utilizzata, quindi, in cifratura e in decifratura, cosa notevole per un apparato crittografico in relazione all'impegno economico e all'occupazione di spazio.

Di seguito è presentata una breve storia dell'evoluzione della macchina cifratrice tedesca nota col nome di Enigma e di come crittoanalisti di tutto il mondo si siano impegnati a decifrare i suoi messaggi. La trattazione parte dal funzionamento base della macchina, per passare alla realtà storica dell'utilizzo, fino ai diversi miglioramenti tecnici apportati e gli esperienti escogitati per risolvere i problemi da essi derivanti.

Gli inventori di tale macchina furono *Arthur Scherbius* e *Richard Ritter* nel 1918.

Il primo, Ingegnere Elettrico, mise in



Figura 3 Visione globale di Enigma

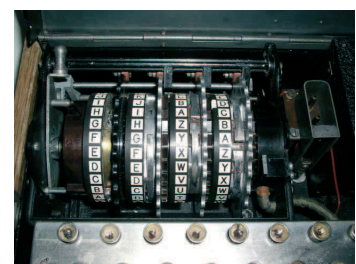


Figura 4 Unità scambiatrice (riflessore + tre dischi scambiatori + disco base fisso)



I tuoi  
**progetti**

hanno  
bisogno  
di una

**BENZINA  
SPECIALE ?**

**fare elettronica**

CULTURA ELETTRONICA APPLICATA

La rivista che ti accompagna ogni mese da oltre 22 anni con tante informazioni utili sui componenti, le loro applicazioni e una grande quantità di progetti completi di schema e pcb.



[www.farelettronica.com](http://www.farelettronica.com)

**Firmware**

MICROCONTROLLORI E MICROELETTRONICA

Il nuovo mensile, unico in Italia, dedicato ai microcontrollori e alla microelettronica. Uno strumento indispensabile per tutti i progettisti di schede a micro.



[www.fwonline.it](http://www.fwonline.it)

**Fai il pieno con le riviste di  
INWARE EDIZIONI!**

**IN EDICOLA O IN ABBONAMENTO**

**INWARE**  
EDIZIONI

Inware Edizioni Srl  
Via Cadorna, 27/31  
20032 Cormano (MI) Italy  
Tel: 02.66504755 - Fax: 02.66508225  
[www.inwareedizioni.it](http://www.inwareedizioni.it)  
[info@inwareedizioni.it](mailto:info@inwareedizioni.it)

pratica le conoscenze acquisite presso l'Università di Hannover e realizzò con Ritter una riproduzione elettromeccanica del disco cifrante di Leon Battista Alberti. Dopo questa breve introduzione ci occuperemo del funzionamento della macchina elettromeccanica che cambiò il destino di parecchie battaglie terrestri e navali.

## FUNZIONAMENTO DI ENIGMA

La macchina ha principi di costruzione modulari, quindi nel tempo rivelò la possibilità di montaggi alternativi e di conseguenza diversi funzionamenti, cosa che ha complicato non poco il lavoro dei crittoanalisti.

La versione base del dispositivo era costituita da tre gruppi di componenti collegati tra loro con fili elettrici: una tastiera per immettere le lettere del testo in chiaro; un'unità scambiatrice che cifra la lettera trasformandola nel corrispondente elemento del crittogramma mediante un sistema a dischi, che analizzeremo in dettaglio in seguito; un visore con varie lampadine che illuminandosi indicano le lettere del corrispondente testo cifrato. In pratica l'operatore preme il tasto corrispondente ad una lettera del testo in chiaro, la macchina elabora l'impulso elettrico ricevuto e fa illuminare la lampadina corrispondente alla lettera cifrata.

La parte più importante della macchina è il singolo scambiatore, rappresentato da uno dei 3 dischi che formano l'unità scambiatrice di cui sopra. Tale disco caratterizzato da 26 tacche conduttive in ingresso e 26 tacche conduttive in uscita, è attraversato da una fitta rete di fili interni che uniscono gli ingressi con le uscite. Lo schema interno dello scambiatore determina in pratica un alfabeto cifrante utilizzabile per una semplice cifratura a sostituzione monoalfabetica.

Il passo successivo dell'idea di Scherbius prevedeva di far ruotare il disco dello scambiatore di



**Figura 5** Unità scambiatrice fuori sede (riflessore + disco base fisso + tre dischi scambiatori)



**Figura 6** Finestra di settaggio degli scambiatori



**Figura 7** Il pannello a prese multiple

un ventiseiesimo di giro dopo la cifratura di ogni singola lettera, in tal modo l'alfabeto cifrante cambia dopo ogni lettera trasformando la cifratura monoalfabetica in una polialfabetica.

L'unità scambiatrice è formata da 3 dischi, tali scambiatori sono collegati a due a due attraverso le 26 tacche conduttive, in più a monte della pila dei tre dischi c'è un disco fisso che a sua volta ha 26 tacche collegate ognuna con la tastiera e con un sistema di lampadine, mentre in fondo alla pila c'è un ultimo disco detto riflesore, in cui le tacche sono collegate a due a due mediante tredici fili interni.

Ciò comporta che il circuito elettrico si chiude ogni volta che si batte una lettera della tastiera, così che attraverso i contatti elettrici dei vari dischi ogni lettera viene cifrata sette volte, visto che la funzione del riflesore è quella

di riflettere indietro il segnale (vedi figura 8).

La disciplina di funzionamento degli altri dischi in termini di rotazione, era che il secondo compiva una rotazione parziale soltanto dopo che il primo aveva compiuto un intero giro, e allo stesso modo faceva il terzo basandosi sul secondo. In questo modo la macchina di Scherbius poteva disporre di  $26 \times 26 \times 26 = 17576$  procedure di sostituzione diverse.

Cerchiamo di inquadrare il funzionamento di Enigma. Il primo parametro da specificare è il posizionamento degli scambiatori secondo un certo assetto prima di iniziare la cifratura di un messaggio, tale settaggio rappresentava una vera e propria chiave (Figura 6).

L'insieme di tali chiavi giornaliere era contenuta in un cifrario che doveva essere distribuito mensilmente a tutti gli operatori e che doveva essere, ovviamente, molto ben custodito. Gli assetti giornalieri del cifrario venivano usati per tutti i messaggi di una giornata. Per cifrare un messaggio un operatore Enigma posizionava gli

# FUTURANET

Prodotti e servizi per la rete e per la telefonia mobile

<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 15,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 5,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 13,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 22,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 34,00</b></p>	<p><b>NEW</b></p> <p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p>	<p><b>NEW</b></p> <p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p>	<p><b>NEW</b></p> <p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p>	<p><b>NEW</b></p> <p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p>	<p><b>NEW</b></p> <p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p>
--	---	--	--	--	---	---	---	---	---

<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 34,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 34,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 44,00</b></p>
--	--	--

<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 66,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 66,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 70,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 44,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 38,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 34,00</b></p>	<p><b>Modem USB</b></p> <p>Modem USB per PC con tecnologia ADSL2+ e tecnologia 3G+ (HSPA+).</p> <p><b>Euro 38,00</b></p>
--	--	--	--	--	--	--

[www.futuranet.it](http://www.futuranet.it)

Prodotti e servizi per la rete e per la telefonia mobile

Codice MIP 249037



scambiatori secondo la chiave giornaliera, digitava il messaggio sulla tastiera della macchina e spediva via radio il risultato al destinatario. Quest'ultimo digitava il messaggio cifrato sulla tastiera della sua macchina Enigma, sulla quale gli scambiatori erano sistemati secondo la stessa chiave giornaliera usata in precedenza, e otteneva il messaggio in chiaro. La semplicità con cui questa operazione era realizzata era dovuta proprio all'introduzione del riflettore.

Il livello di sicurezza raggiunto con Enigma, non era rappresentato dalla complessità della macchina, ma dall'elevato numero di combinazioni che un nemico avrebbe dovuto controllare per ottenere l'assetto iniziale con un approccio a forza bruta. Infatti ipotizzando di disporre di una potenza di calcolo che permettesse di provare una chiave al minuto ci sarebbero volute due settimane per scoprire la chiave di un solo giorno. Ma il tutto fu ancora migliorato attraverso due modifiche sostanziali che rispecchiano la considerazione fatta all'inizio, la prima modifica era circa gli scambiatori che furono costruiti in modo da essere rimovibili così da poterli sostituire con altri o scambiarli tra loro. Questo accorgimento aumentava il numero di chiavi di un fattore pari a 6, in quanto 3 elementi intercambiabili possono essere combinati in 6 modi diversi.

La seconda evoluzione fu l'inserimento di un pannello a prese multiple tra la tastiera ed il primo rotore (vedi fig. 7). Il mittente attraverso tale pannello poteva inserire alcuni cavi con degli spinotti in modo da scambiare due lettere prima dell'immissione nell'unità di scambio, il numero di scambi effettuabili

erano sei su venti lettere, quindi le altre quattordici lettere restano non scambiate.

Possiamo, quindi, cercare di fare un riepilogo circa la complessità computazionale di tale macchina, in termini di numero di combinazioni di chiavi che dovevano essere generate per operare un attacco a forza bruta: gli scambiatori (o rotori) potevano orientarsi ognuno in 26 modi, quindi tutti e tre generavano  $26 \times 26 \times 26 = 17576$  combinazioni; poi all'interno dell'unità cifratrice i tre scambiatori potevano essere inseriti in diverse posizioni reciproche, così riassumibili: 123, 132, 213, 231, 312, 321. Erano quindi ammesse 6 diverse posizioni reciproche dei rotori; infine con il pannello a prese multiple i possibili abbinamenti di 12 (6x2) lettere su 26 sono moltissimi (per l'esattezza, 100 miliardi 391 milioni 791 mila 500). Quindi il numero totale di chiavi si ottiene moltiplicando tra loro le suddette possibilità:  $17576 \times 6 \times 100391791500 =$  circa 10 milioni di miliardi.

Nonostante fosse formata da elementi semplici, dunque, la combinazione di questi ultimi produceva una macchina cifrante ad alta complessità computazionale con una complessità di costruzione non elevatissima, ma si presentarono comunque grandi difficoltà nel diffonderla sul mercato, ciò per due motivi principali: il costo, circa 20000 sterline attuali, e perché nessuno sembrava aver colto l'importanza di una simile invenzione.

Alla fine i militari, dopo aver compreso il vantaggio che la Regia Marina inglese ebbe dall'intercettazione delle comunicazioni cifrate tedesche durante la Prima Guerra Mondiale, e dopo altri episodi simili decisero di adottare Enigma, per prevenire nuovi pericoli del genere. Nel 1925 fu organizzata la produzione in serie e nei due decenni successivi le forze armate tedesche ebbero a disposizione ben 30000 esemplari.

### I PRIMI TENTATIVI DI CRITTOANALISI: IL BIURO SZYFROW

Dopo l'attenzione iniziale nel reprimere gli avversari, la coalizione che vinse la Grande Guerra si disinteressò delle comunicazioni degli sconfitti e ridusse le attività di intercettazione e decodifica dei crittogrammi dei vecchi

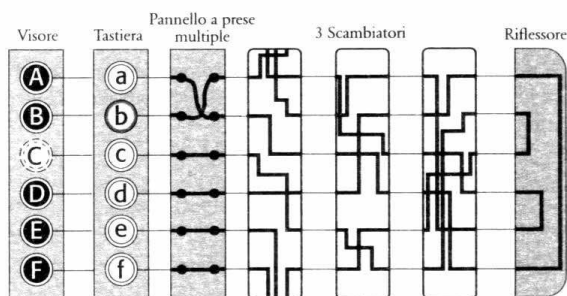


Figura 8 Funzionamento globale

avversari. L'attività di monitoraggio quasi si bloccò del tutto nel 1926, proprio in coincidenza dell'inizio dell'utilizzo di Enigma.

Solo la Polonia, stretta tra Germania e Russia, si occupò di operare una costante e duratura azione di monitoraggio delle comunicazioni della Germania. In particolare un ufficio chiamato *Biuro Szyfrow*, l'ufficio cifre polacco, si occupò dell'analisi dei messaggi e fu il primo gruppo di lavoro creato per fronteggiare la codifica operata con Enigma.

Il lavoro ebbe pochi risultati incoraggianti, almeno all'inizio, fino al novembre del 1931, quando tale *Hans-Thilo Schmidt*, un impiegato dell'ufficio amministrativo preposto alle comunicazioni crittografate militari, fornì ad una spia francese (nome in codice Rex), le foto di due manuali di istruzioni per la macchina crittografica militare dietro ricompensa di 10000 marchi. Queste informazioni giunsero attraverso semplici passaggi tra servizi segreti al *Biuro Szyfrow*, che fu in grado di produrre una replica della versione militare di Enigma. Ma questo fu un primo passo sulla strada della soluzione del problema, in quanto la sicurezza offerta da Enigma era rappresentata non dalla macchina in se stessa, ma dall'elevatissimo numero di combinazioni da controllare per trovare la chiave giornaliera, come già sottolineato nel paragrafo precedente; in quanto come per tutti i dispositivi crittografici la conoscenza del dispositivo cifrante può risultare scontata, il tutto è legato alla chiave utilizzata. Inoltre per maggiore sicurezza (dato che la chiave giornaliera sarebbe stata usata per

centinaia di messaggi e questo poteva facilitare il compito dei crittoanalisti nemici) venne adottata una nuova chiave per ogni messaggio, detta chiave di messaggio. Tale chiave veniva trasmessa usando l'assetto indicato



**Figura 9** Marian Rejewski

# Abbonati oggi!



[www.farelettronica.com/abbonamento](http://www.farelettronica.com/abbonamento)

# fare elettronica

**CULTURA ELETTRONICA APPLICATA**



dalla chiave giornaliera (nota in anticipo a tutti gli operatori perché distribuita) e ripetuta due volte di seguito all'inizio del messaggio, cosa che si rivelò nefasta per Enigma. Quindi tale chiave di messaggio veniva usata per regolare il nuovo assetto della macchina per il singolo messaggio. Ad esempio se la chiave giornaliera era PGW e la chiave di messaggio KIH (entrambe indicano un orientamento degli scambiatori), l'operatore mittente avrebbe digitato KIHKIH come inizio del messaggio in chiaro.

Cifrando il messaggio quelle lettere sarebbero diventate poniamo GHUBJE (da notare che la prima metà della stringa è diversa dalla seconda perché Enigma modificava automaticamente l'assetto degli scambiatori dopo ogni lettera). Dopo aver cifrato la chiave di messaggio l'operatore posizionava gli scambiatori su KIH e cifrava il messaggio vero e proprio.

Il destinatario regolava la macchina su PGW, la chiave giornaliera, e decifrava le prime sei lettere del messaggio ricevuto, quindi ricavata la chiave di messaggio, posizionava gli scambiatori su KIH e poteva decifrare il testo.

In seguito i responsabili del *Biuro Szyfrow* decisero di reclutare dei matematici per fare ricerca per decifrare i messaggi prodotti da Enigma. Scelsero tali matematici organizzando un corso di crittografia all'Università di Poznan, situata in una zona appartenuta alla Germania fino al 1918. Tra i 20 matematici selezionati si distinsero *Marian Rejewski*, *Henryk Zygałski* e *Jerzy Rozicki*, ma il più brillante era senza dubbio il giovane *Marian Rejewski* (figura 9).

Dopo un breve periodo di apprendistato Rejewski venne messo al lavoro su Enigma.

La cosa sorprendente è che nel giro di tre mesi per merito dei tre matematici sopraelencati e grazie alla leggerezza della doppia ripetizione della chiave di messaggio all'inizio della comunicazione si riuscì a venire a capo della decifrazione dei primi messaggi. Rejewski cercò di tradurre in termini numerici ogni aspetto del funzionamento della macchina e basò la sua strategia sul fatto che la ripetizione è nemica della sicurezza.

La principale ripetizione nei messaggi era la chiave di messaggio che veniva cifrata due

volte di seguito all'inizio di ogni comunicazione. Questo significava che la prima e la quarta lettera erano legate strettamente alla posizione degli scambiatori, così come la seconda e la quinta e la terza e la sesta.

Man mano che venivano intercettati nuovi messaggi Rejewski aveva materiale per completare una tabella delle corrispondenze. Poniamo per esempio che venissero ricevuti i seguenti quattro messaggi (ne consideriamo solo le prime sei lettere):

1. L O K R G M

2. M V T X Z E

3. J K T M P E

4. D V Y P Z X

Considerando la prima e quarta lettera di ciascun messaggio crittografato, è possibile costruire una tabella di traduzione:

Prima lettera:

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T  
U V W X Y Z

Quarta lettera

P M R X

Con un sufficiente numero di messaggi in una stessa giornata la tabella può essere completata:

Prima lettera

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U  
V W X Y Z

Quarta lettera

F Q H P L W O G B M V R X U Y C Z I T N J  
E A S D K

In base alle tabelle così costruite, il matematico polacco risalì a concatenazioni di lettere, mettendo in relazione le lettere della riga superiore e quelle della riga inferiore. Tenendo conto solo della prima e quarta lettera di ogni messaggio è possibile ricavare delle concatenazioni come le seguenti:

Concatenazioni	Numero di collegamenti
A→F→W→A	3
B→Q→Z→K→V→E→L→R→I→B	9
C→H→G→O→Y→D→P→C	7
J→M→X→S→T→N→U→J	7



Ovviamente questo lavoro andava ripetuto per le altre coppie di lettere rappresentanti la doppia cifratura della chiave di messaggio, quindi per la seconda e la quinta lettera e la terza e la sesta lettera.

Dall'analisi di Rejewski si capiva che queste concatenazioni dipendevano in modo complesso dai collegamenti del pannello a prese multiple, dalla collocazione degli scambiatori e dal loro assetto, ma fin qui le possibilità da vagliare non apparivano ridotte e quindi il problema non cessava di esistere. Il problema poteva essere definito matematicamente attraverso un sistema di 5 equazioni molto difficilmente risolvibile, in quanto caratterizzato da un elevato numero di gradi di libertà, e solo con un certo numero di ipotesi semplificative e con un'informazione proveniente dall'ufficio cifra francese circa la struttura del disco iniziale si arrivò ad ottenere un sistema in due incognite, più facilmente risolvibile.

L'intuizione geniale del crittoanalista polacco fu quella di capire che gli effetti del pannello e quelli degli scambiatori sulle concatenazioni potevano essere separati. In particolare notò che il numero di collegamenti dipendeva esclusivamente dagli scambiatori. Infatti, tornando all'esempio precedente, supponiamo che le lettere S e G siano scambiate dal pannello a prese multiple. Se usiamo il cavetto di S e G per scambiare ad esempio T e K otteniamo:

Concatenazioni	Numero di collegamenti
A→F→W→A	3
B→Q→Z→T→V→E→L→R→I→B	9
C→H→S→O→Y→D→P→C	7
J→M→X→G→K→N→U→J	7

Notiamo che alcune lettere sono cambiate, ma il numero di collegamenti è rimasto invariato.

Grazie a questa intuizione si riuscì a ridurre in maniera molto significativa il numero di possibili combinazioni da controllare per trovare la chiave giornaliera: infatti ora bisognava scoprire non una chiave tra dieci milioni di

miliardi, ma quale assetto degli scambiatori avesse generato le concatenazioni osservate. E il numero di assetti da verificare era il prodotto delle possibili collocazioni negli alloggiamenti (6) e dei possibili orientamenti (17576), quindi 105456.

Grazie alle repliche della versione militare di Enigma di cui il *Biuro Szyfrow* disponeva e dopo un anno di lavoro si riuscì a compilare un repertorio contenente tutte le possibili lunghezze delle concatenazioni e i relativi assetti degli scambiatori.

Questo fu uno storico passo avanti in quanto, una volta ricevuti un certo numero di messaggi Enigma, bastava osservare le prime sei lettere, costruire la tabella delle corrispondenze e controllando il repertorio si riusciva facilmente a trovare l'assetto degli scambiatori corrispondente alla chiave giornaliera.

In ogni caso i messaggi non erano totalmente in chiaro in quanto in tutto il ragionamento non abbiamo preso in considerazione gli scambi di lettera effettuati dal pannello a prese multiple, ma ciò non rappresentava un problema. Infatti escludendo il pannello sulle repliche della macchina una parte del messaggio (quella che conteneva lettere non scambiate dal pannello) era quasi comprensibile e perciò non risultava difficile trovare le lettere da collegare con i cavi del pannello a prese multiple.

Successivamente Rejewski riuscì a progettare, adattando alcune delle copie di Enigma a sua disposizione, un congegno che automatizzava la ricerca della chiave giornaliera controllando rapidamente le 17576 combinazioni per trovare le posizioni dei rotori degli scambiatori. Questi congegni erano chiamati "bombe" e, poiché gli scambiatori potevano essere posti in sei posizioni diverse occorreva sei "bombe" che funzionavano in parallelo. Così come Enigma aveva rappresentato l'automazione del processo di cifratura, così le "bombe" di Rejewski rappresentavano l'automatismo della decifrazione.

Alla fine del 1938 i successi polacchi nel decifrare i messaggi Enigma subirono una pesante battuta d'arresto dovuta all'introduzione di nuove misure per aumentare la sicurezza

della macchina. Infatti tra il 1938 e il 1939 i tedeschi cambiarono le regole di cifratura e aumentarono il numero di rotori da 3 a 5 così che il metodo dei polacchi perse buona parte della sua efficacia. In quel periodo la decodifica di messaggi Enigma da parte dell'ufficio cifre polacco fu occasionale.

Con i nuovi scambiatori il numero delle combinazioni passava da sei a 60 il che rendeva necessaria la costruzione di altre 54 "bombe", cosa che risultava impossibile per il bilancio del Biuro Szyfrow. Inoltre con le aggiunte al pannello a prese multiple le lettere scambiate passavano da dodici a venti su ventisei portando il numero di possibili chiavi a 159 miliardi di miliardi.

In seguito a causa del precipitare degli eventi quando la guerra divenne sempre più inevitabile al Biuro Szyfrow si decise di rivelare i progressi fatti su Enigma, fino ad allora segreti, così da permettere agli alleati più potenti e ricchi come Francia e Inghilterra, di tentare di proseguire il lavoro, impedendo ai tedeschi di scoprire i risultati ottenuti, così nacque il gruppo di crittoanalisti di Bletchley Park.

### IL SUCCESSO DELLA CRITTOANALISI: BLETCHLEY PARK

Alla metà del 1939 gli studi di crittoanalisi furono spostati in Inghilterra presso una residenza nel *Buckinghamshire* che si chiamava *Bleehley Park*. In tale località fu posta la sede della *Government Code and Cypher School (GC&CS)*. L'organizzazione interna era basata sul singolo ufficio che si occupava di un certo argomento,

quindi fu definita una divisione in "Capanne". Ad ogni capanna corrispondeva un numero e un compito diverso, per esempio alla Capanna 6 competeva la decifrazione dei messaggi di Enigma. Il numero di persone impiegate in tale servizio passarono dai duecento del 1939 a circa settemila della fine del conflitto. Gli studi condotti presso la Capanna 6 furono di vitale importanza, basti pensare che durante la Battaglia d'Inghilterra i crittoanalisti furono spesso in grado di fornire ai comandi della RAF il luogo e il momento delle incursioni tedesche. Partendo dalle nozioni trasmesse dai crittoanalisti polacchi, i colleghi inglesi riuscirono a trovare altre falle che facilitassero la scoperta della chiave giornaliera, che denominarono "cillies". Un "cilly" era una falla di Enigma non legata alla costruzione della macchina, ma agli utilizzi errati che se ne faceva. Molti operatori usavano come chiave di messaggio tre lettere adiacenti sulla tastiera, cosa che rendeva più semplice intuire la chiave stessa.

Altri errori furono ad opera dei responsabili della compilazione dei cifrari che cercando di rendere le chiavi più difficili da prevedere, imposero delle limitazioni al numero di chiavi stesse. Stabilirono che nessuno scambiatore potesse occupare la stessa posizione per due giorni consecutivi e che ogni lettera non dovesse essere scambiata con quella che la precede e/o la segue.

Queste disposizioni portarono ad una riduzione di oltre il cinquanta per cento del numero di posizionamenti degli scambiatori e ad una notevole facilitazione per i crittoanalisti inglesi.

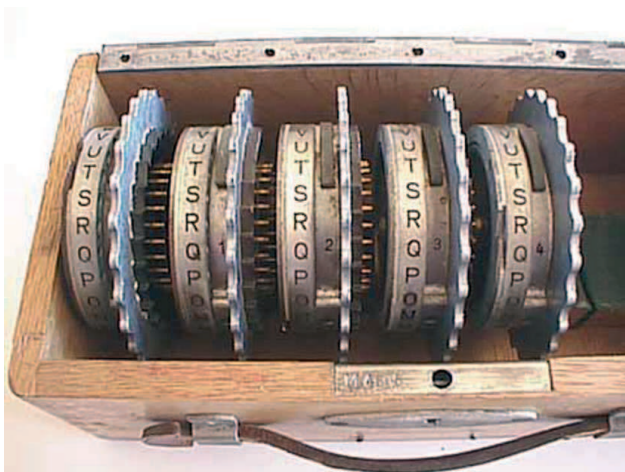


Figura 10 I 5 rotori



Figura 11 Blechley Park





La situazione della crittoanalisi di Enigma si rese più critica a causa della continua evoluzione che ebbe la macchina nel suo utilizzo, ci fu un enorme sforzo da parte di tutti gli impiegati della CG&CS e tra questi l'impiegato che diede il contributo più significativo alla sconfitta di Enigma fu *Alan Turing*, più noto per i suoi studi sui problemi indecidibili e sul suo risolutore algoritmico universale, anticipazione teorica dei moderni calcolatori.

Turing ebbe la grande intuizione di fondare un nuovo metodo di crittoanalisi sul fatto che molti dei messaggi che venivano intercettati avevano una struttura piuttosto rigida e spesso capitava che messaggi che venivano trasmessi periodicamente (come ad esempio i bollettini meteorologici) avevano le stesse parole in posizioni fisse. Ad esempio le prime sei lettere del secondo rigo di alcuni tipi di messaggi corrispondevano alla parola "wetter" (tempo atmosferico).

Questo costituiva ciò che in gergo dei crittoanalisti venne definito "crib", cioè un frammento del testo in chiaro che può essere dedotto in base a considerazioni non crittoanalitiche.

Turing si concentrò su un crib in particolare e anche in questo caso scoprì delle concatenazioni, che però riguardavano le lettere del testo in chiaro e del testo cifrato nell'ambito di un crib. In figura 13 è mostrato un possibile crib e la sua concatenazione.

Analizzando la concatenazione in figura è possibile individuare che nell'assetto "a", Enigma cifra "w" come "E", mentre nell'assetto "a+1", Enigma cifra "e" come "T", infine nell'assetto "a+3", Enigma cifra "t" come "W".

A partire da questo semplice esempio Turing sviluppò tutte le implicazioni dei rapporti

all'interno del ciclo e in base a questo progettò un circuito elettrico che collegava tre macchine Enigma con cavi posti tra l'input di una macchina e l'output della successiva seguendo lo schema logico mostrato in figura 14.

Questo schema realizzava un procedimento automatico di verifica attraverso la lampadina che si sarebbe accesa quando il corretto assetto fosse stato trovato.

Si noti che in figura è rappresentato lo schema del circuito determinati i collegamenti imposti nei pannelli a prese multiple, cosa che al momento della crittoanalisi, risulta un dato non conosciuto, quindi il circuito doveva essere costruito in modo da annullare gli effetti del pannello a prese multiple, in quanto bisognava solo collegare l'output del primo gruppo di scambiatori con l'input del secondo gruppo in corrispondenza di L1.

Poiché questo valore non era noto era necessario collegare le 26 uscite del primo gruppo con i 26 ingressi del secondo formando 26 circuiti, ciascuno dotato di una lampadina per evidenziarne la chiusura. Alla fine, scoperto il giusto orientamento degli scambiatori, uno dei circuiti si chiudeva causando l'accensione della lampadina.

Ma fino ad ora non abbiamo ancora considerato la possibilità di scambio dei rotori. Ipotizziamo che gli scambiatori mutassero orientamento ogni secondo, per completare l'operazione di controllo di tutti gli orientamenti ci sarebbero volute cinque ore, in più per realizzare questo controllo ci sarebbe bisogno di un certo parallelismo. Quindi se i rotori utilizzati erano cinque e le macchine cifranti a disposizione ne contenevano tre con 60 combinazioni, si



Figura 12 Alan Turing

Assetto di Enigma

Testo chiaro ipotizzato

Testo cifrato noto

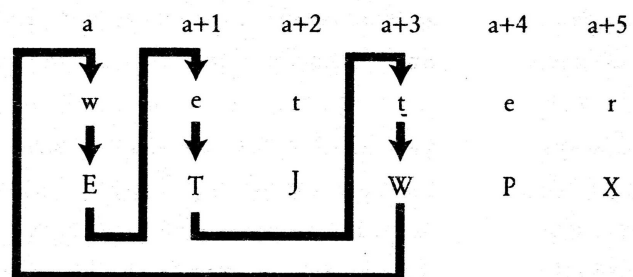


Figura 13 Un "crib" con indicate le concatenazioni



calcolò che per controllare tutte le disposizioni erano necessari 60 gruppi di tre macchine da far lavorare in parallelo.

Altro aspetto da considerare è che per determinare l'assetto del pannello a prese multiple bisognava operare a partire da crittogrammi parzialmente decifrati.

Abbiamo tratteggiato le caratteristiche principali di quelle che furono dette le "bombe di Turing", tali macchine ebbero un costo medio di 100000 sterline e furono completamente realizzate per la prima volta per l'inizio del 1940. Ogni bomba era composta da dodici gruppi di scambiatori Enigma collegati elettricamente. Il primo prototipo non funzionò molto bene e il completamento delle costruzioni coincise con alcune notevoli variazioni nell'utilizzo di Enigma, principalmente si smise di ripetere le chiavi di messaggio, ciò portò alla costruzione di una versione migliorata delle bombe denominata "Agnus Dei". Tale versione di bomba di Turing aveva la possibilità di risalire ad una chiave giornaliera in una sessantina di minuti al massimo, ma il suo funzionamento non era completamen-

te autonomo e indipendente dal personale che lo utilizzava. Il problema principale della macchina era il bisogno di partire da un "crib", che però era solo su un'ipotesi che i crittoanalisti facevano, immaginando che una certa parola in chiaro potesse trovarsi in una certa posizione.

Nell'ipotesi in cui ci fosse un errore nella predizione del crib, era possibile accorgersi di tale errore analizzando l'ipotetico testo in chiaro e il testo cifrato. Per capire il processo facciamo un esempio, nel crib seguente il testo in chiaro fa parte del crittogramma ma non si ha la sicurezza di averlo collegato alle lettere giuste.

Testo chiaro ipotetico:

w e t t e r n u l l s e c h s

Porzione del crittogramma:

I P R E N L W K M J J S X C P L E J W Q

La cosa che poteva aiutare a capire che la predizione era errata, era l'allineamento tra le lettere, il riflettore di Enigma non permetteva ad una lettera di essere cifrata come se stessa, quindi nell'esempio considerato ci deve essere un allineamento sbagliato, poiché si sovrappongono una "e" in chiaro e una "E" cifrata.

Le cose non cambiano spostando la prima riga di una posizione a sinistra, ma effettuando lo spostamento verso destra si trova un allineamento ammissibile e che poteva quindi essere utilizzato per la ricerca automatica della chiave giornaliera.

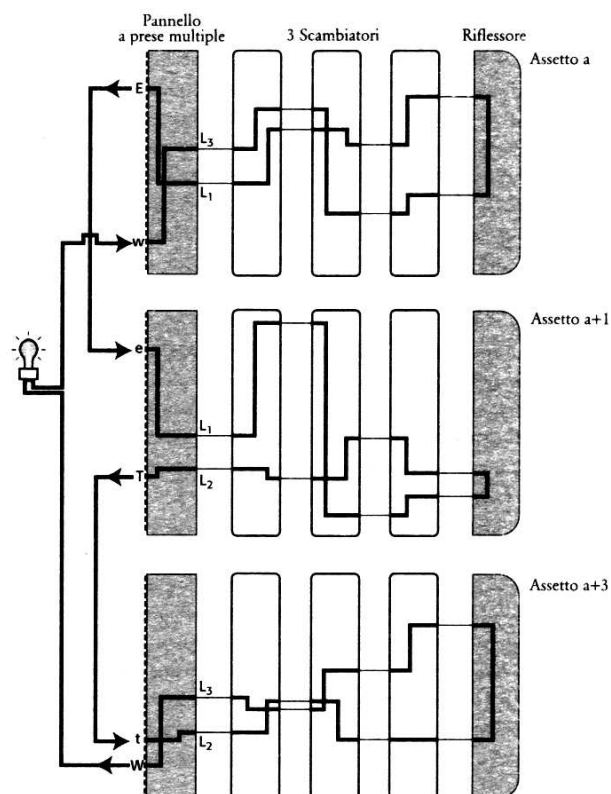


Figura 14 Processo di verifica automatizzata (schema logico)

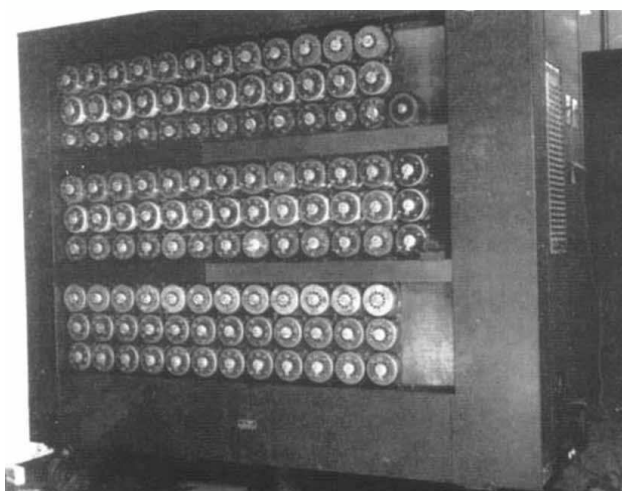


Figura 15 Bomba di Turing



**Figura 16** Mark Csele

## RIFERIMENTI PER REALIZZARE UNA VERSIONE MODERNA DI ENIGMA

Nella composizione di questo argomento, ho creduto nella possibilità di costruire un processore crittografico che funzionasse secondo i meccanismi descritti nella prima parte dell'articolo,

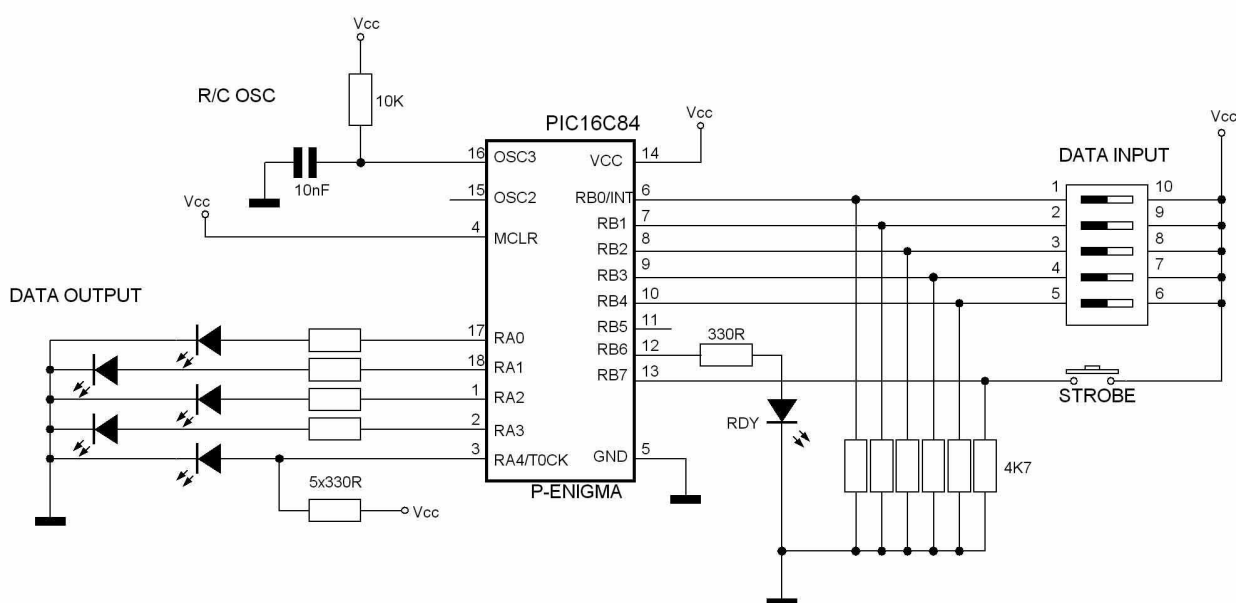
quando mi sono imbattuto nella realizzazione basata su PIC portata avanti da *Mark Csele*, professore universitario di architettura degli elaboratori e sistemi embedded, che ha realizzato un'emulazione di Enigma a tre rotori su di un PIC16C84, che può essere utilizzata da sola o collegata ad un PC con un adeguato circuito di interfaccia.

Rimandiamo all'interessantissimo sito del Professore dove è possibile guardare i dettagli di questa particolare realizzazione e dove sono a disposizione il firmware utilizzato dal PIC e la tempificazione per l'interfacciamento con l'hardware autocostruito:

<http://www.technology.niagarac.on.ca/people/mcsele/Enigma.html>

## BIBLIOGRAFIA

- Museo di Enigma del Prof. Tom Perera Ph. D.  
<http://w1tp.com/enigma>  
che ha concesso gentilmente le foto incluse nell'articolo
- Marian Rejewski - An Application of the Theory of Permutations in Breaking the Enigma Cipher – 1977:  
<http://www.impan.gov.pl/Great/Rejewski/article.html>
- The German Enigma Cipher Machine - History of Solving:  
<http://www.enigmahistory.org/enigma.html>
- Alan Turing:  
<http://www.computer50.org/mark1/turing.html>
- Vita di Alan Turing:  
<http://www.turing.org.uk/>
- On Enigma and a method for its decryption:  
<http://www.cs.miami.edu/~harald/enigma/enigma.html>
- Hodges, Andrew, Storia di Enigma.  
Vita di Alan Turing, Bollati Boringhieri, Torino  
1992 Esempio di utilizzo del disco cifrante di Leon Battista Alberti:  
[http://www.liceomascheroni.it/recup\\_approf/mate/rsa/rsa\\_1.htm](http://www.liceomascheroni.it/recup_approf/mate/rsa/rsa_1.htm)

**Codice MIP 249032**

**Figura 17** Schema elettrico del processore crittografico P-Enigma di Mark Csele

# Parti subito col tuo progetto embedded grazie ai Microcontroller PIC®



**Il nuovo Starter Kit PICkit™ 2 Flash per lo sviluppo su Microcontroller PIC a 8-bit di Microchip**

L'ampio spettro di microcontroller PIC low pin a 8-bit di Microchip offre una serie di prodotti facile da utilizzare e adattati a qualsiasi applicazione.

Potenti e flessibili, i microcontroller PIC sono totalmente supportati da tool e risorse che facilitano lo sviluppo dei sistemi embedded. Grazie a un supporto tecnico sempre disponibile, a strumenti di sviluppo a basso costo, a una documentazione completa, ai gruppi di discussione on line e a molte altre risorse, non è mai stato così semplice avviare un progetto basato su microcontroller PIC!



Architecture	Product Series	Product Word	Pin Count	Flash Program Memory (bytes)	Internal Oscillator	ADC	Comparators	Capture/Compare/Pulse-Width Modulation	NanoWatt Technology**	Data EE
Cost-Effective Baseline PIC Microcontroller*	PIC10F	12-bit	6	384 to 768	4 to 8 MHz	8-bit	•			
	PIC12F	12-bit	8 to 14	768 to 1536	4 to 8 MHz	8-bit	•			
	PIC16F	12-bit	40	768 to 2048	4 to 8 MHz	8-bit	•			
Peripheral-Rich Mid-Range PIC Microcontroller	PIC12F	14-bit	8	1792 to 2048	32 kHz to 8 MHz	10-bit	•	•	•	•
	PIC16F	14-bit	14 to 64	1792 to 14336	32 kHz to 8 MHz	10-bit	•	•	•	•

\* Compatibility with Mid-Range PIC Microcontroller Architecture ensures easy migration

\*\* Microchip's proprietary low power technology



Decima parte

n° 248 - Febbraio 2006

La scheda di sviluppo EasyPIC3

Undicesima parte

n° 249 - Marzo 2006

Conversione analogico/digitale  
con il PIC

Dodicesima parte

n° 250 - Aprile 2006

I<sup>o</sup>C con il PIC

# Mikrobasic per PICmicro

48

Pratica

**A**ggiungiamo un importante tassello alla conoscenza dei microcontrollori, cioè lo studio della conversione analogico/digitale di un segnale. Un passo obbligatorio per poter gestire trasduttori e sensori che forniscono solamente tensioni di qualsiasi livello analogico.

Il PIC, lo abbiamo detto tante volte, accetta in input solamente due valori di tensione: 0 Volt rispetto a massa (*Falso digitale*) e +5 Volt rispetto a massa (*Vero digitale*).

Se tale gestione è sicuramente semplice per il trattamento di impulsi o segnali provenienti da apparecchiature digitali, è altrettanto vero che l'acquisizione di un segnale dall'ampiezza variabile o incerta sarebbe impossibile.

Dal momento che un microcontrollore è capace di "leggere" solamente queste due sole tensioni, è obbligatorio il trattamento di questi due livelli.

Esistono naturalmente piccole differenze che il PIC può tollerare, e questo vale anche per tutte le porte logiche esistenti.

Così, ad esempio, se in una porta si immette un valore di 4,6 Volt, il dato acquisito sarà **Alto**, digitalmente parlando. Al contrario, se si immette un valore minore di 0,6 Volt esso sarà considerato come **Basso**. Ma se il segnale da considerare è di 2,7 Volt il sistema si troverebbe in grande imbarazzo e non saprebbe come interpretarlo. Si definisce questa situazione come *stato di incertezza* che conviene sempre evitare in tutti i sistemi digitali.

Esistono invece casi in cui è indispensabile pro-

cessare il valore reale del segnale, seguendo il suo andamento da un minimo a un massimo, ed elaborarlo per la sua quantità effettiva, senza perdita di informazioni.

## LA CONVERSIONE ANALOGICO/DIGITALE (ADC)

È un metodo che consente di convertire un segnale analogico in uno digitale, interpretabile facilmente da un sistema digitale.

In altre parole la tensione proveniente da un trasduttore ideale, con andamento non limitato, probabilmente causale e imprevedibile, è convertito in una serie di valori (0 e 1) gestibili facilmente da un processore.

Fa parte di quella categoria di processi a *perdita di informazione*, poiché nella conversione si lascia sempre qualche informazione a discapito della precisione, anche per piccolissime entità. Un segnale analogico infatti è molto più affida-

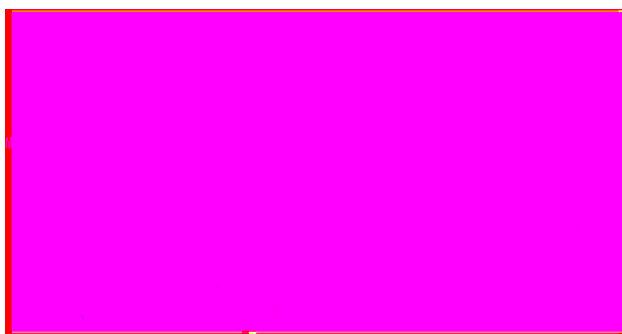


Figura 1 Tipico segnale analogico

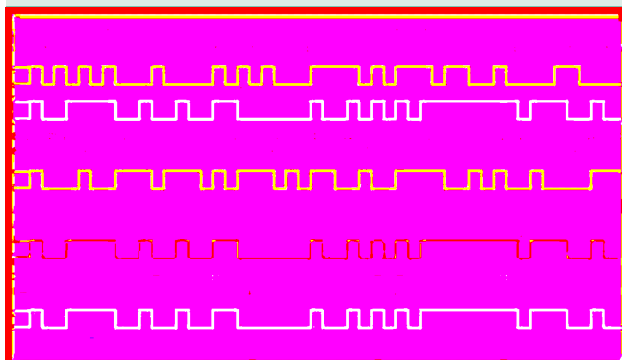


Figura 2 Tipico segnale digitale

# Conversione analogico/digitale con il PIC



di Giovanni Di Maria

bile e completo di uno digitale e contiene tutto ciò che esso deve poter riprodurre e rappresentare e il fatto di limitarlo a poche o molte informazioni diversificate, implica gioco forza un abbassamento di qualità e di fedeltà. Volendo fare un paragone un po' spartano è come se si guardasse una foto a colori (segnale analogico) in modalità bianco e nero (segnale digitale).

## TEORIA

Se il microcontrollore è capace di "capire" solo due tipi di tensioni diverse, (0 Volt e 5 Volt) come si può far ad esso comprendere l'esistenza di un valore diverso e intermedio, come ad esempio 3,3 Volt?

Con le tecniche di *conversione* questo risultato è possibile, ma il prezzo che si paga è un aumento della difficoltà circuitale e della criticità del sistema.

Insomma, per garantire un'elevata precisione occorre utilizzare metodologie alquanto sofisticate che si traducono anche in un aumento del costo dell'intero sistema.

Elenchiamo alcune tecniche di conversione analogico/digitale, senza approfondirle in questa sede:

1. A conversione diretta (con molti comparatori in parallelo).
2. Ad approssimazioni successive.
3. A rampa semplice con integrazione.
4. A doppia rampa con integrazione.

## CONVERSIONE PER APPROSSIMAZIONI SUCCESSIVE

Approfondiamo solamente questa tecnica di campionamento in quanto utilizzata dai microcontrollori PIC.

Si può anche chiamare *tracking A/D* oppure *conversione A/D ad inseguimento*.

In pratica viene utilizzato un convertitore D/A per fornire una base precisa di riferimento. Attraverso un comparatore analogico i due segnali vengono confrontati in maniera conti-

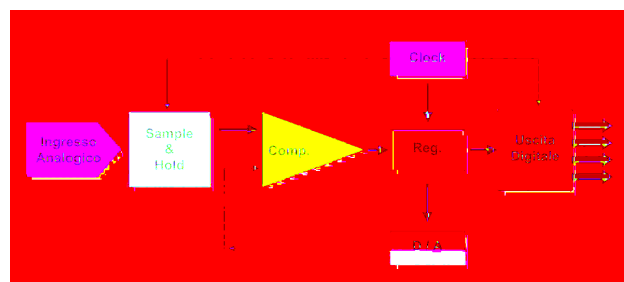


Figura 3 Schema a blocchi della conversione per approssimazioni successive

nua, pertanto se quello generato dal D/A è troppo basso, esso viene aumentato e viceversa, sino ad adeguarsi con il valore del segnale in ingresso.

Questo ripetersi di "inseguimenti" consente di ottenere delle conversioni molto precise in tempi davvero bassi (figura 3).

## LA CONVERSIONE NEL PIC16F876

Per i nostri esperimenti utilizzeremo il fratello maggiore del PIC16F84, ovvero il modello PIC16F876, potente ed economico, ma soprattutto dotato di molte porte (anche di ingresso analogico).

Ecco come avviene la digitalizzazione in questo microcontrollore: il segnale da quantizzare viene applicato ad un piedino del PIC e, tramite un semplice condensatore, esso si mantiene stabile e senza fluttuazioni repentine, che renderebbero la lettura molto più critica (tale mantenimento di livello è definito *sample and hold*).

Il segnale viene così convertito attraverso la tecnica delle approssimazioni successive (spiegata prima) e resa disponibile all'utente in formato digitale, con una risoluzione di 10 bit.

Ciò vuol dire che la precisione del segnale (con  $V_{min}=0V$  e  $V_{max}=5V$ ) equivale a  $5/2^{10}$  ossia a 0,00488 Volt (4,88 mV), una risoluzione più che accettabile per la maggior parte delle applicazioni. Il PIC dispone inoltre del controllo dei riferimenti minimi e massimi del segnale, attraverso la combinazione di VDD, VSS, RA2 e RA3.



**IMPORTANTE:** La massima impedenza raccomandata dalla Microchip per la sorgente analogica è 10 Kohm.

Il PIC16F876 dispone di ben 5 ingressi analogici, con cui poter gestire fino a cinque sensori analogici.

Un numero veramente elevato che consente in pratica di risolvere la maggior parte delle esigenze tecniche.

## CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PIC16F876

Per l'acquisizione di segnali analogici utilizziamo il microcontrollore PIC 16F876 (figura 7), poiché il 16F84 non dispone di convertitori adatti allo scopo.

È opportuno pertanto elencare le caratteristiche essenziali di questo chip veramente potente:

1. Frequenza del clock fino a 20 Mhz.
2. Basso consumo.
3. Contenitore da 28 pin DIL.
4. Memoria Flash per il programma da 8K.
5. Memoria dati da 368 bytes.
6. Eeprom da 256 bytes.
7. Porte I/O: A (6 bit), B (8 bit), C (8 bit).
8. 3 Timers.
9. 5 Canali analogici di input a 10 bit.

## SCHEMA ELETTRICO APPLICATIVO

Le nostre prove saranno eseguite adottando uno schema generico (figura 4) idoneo alla maggior parte delle applicazioni tipiche.

Il lettore eventualmente personalizzerà tale schema adattandolo alle proprie esigenze.

Il numero di connessioni e componenti esterni è ridotto veramente al minimo e, almeno per queste prove, non è richiesto alcun circuito stampato ma basta semplicemente una basetta mille fori o la scheda EasyPIC 3 presentata nella scorsa puntata.

Naturalmente merita una nota particolare il generatore di tensione, indicato con la lettera G e collegato alla porta RA0 del PIC.

Tale ingresso è di tipo analogico ed è capace di "leggere" una tensione analogica, con valore positivo variabile nel tempo.

Si comporta come se fosse una sorta di "tester" interpretato e decodificato dal microcontrollore.

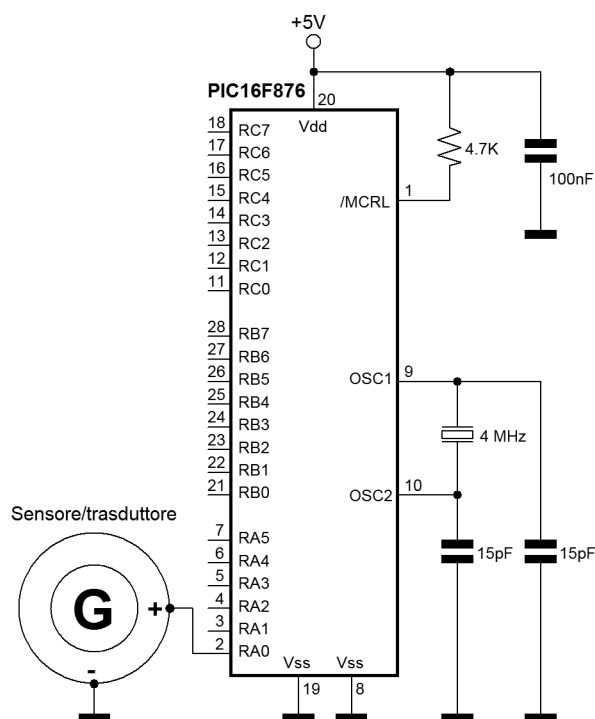


Figura 4 Schema elettrico di base per gli esperimenti

Cosa si può collegare a tale porta?

Praticamente quasi tutti i tipi di sensore (luce, temperatura, pressione, velocità, livello sonoro, eccetera) che sappiano fornire in uscita una tensione qualsiasi e tutti i tipi di generatori di tensione (pile, trasformatori, celle fotovoltaiche ed altri).

Addirittura potremmo collegare ad essa una semplice batteria da 4,5 Volt per monitorare la sua tensione attraverso dei Led colorati e controllare se questa è efficiente, mediamente scarica o è da gettare definitivamente (nel proseguo dell'articolo è descritto proprio questo progetto).

Naturalmente le specifiche del sensore/generatore dovranno seguire quelle del microcontrollore: in altre parole occorre rispettare i valori minimi e massimi tollerabili da quest'ultimo.

## DIETRO LE QUINTE

Un microcontrollore preposto alla conversione analogico/digitale svolge, all'interno del suo sistema, numerose funzioni di *quantizzazione*, *calibrazione* e *raffronti*, funzioni sicuramente molto complesse e complicate, con codice molto esteso. Inoltre sono coinvolti numerosi *registri* interni del microcontrollore, ognuno dei quali preposto ad una precisa funzione per la conversione ed il controllo.



# F&P Elettronica

## BASTIA UMBRA (Perugia)

**Umbriatere**  
Piazza Mancada, 1

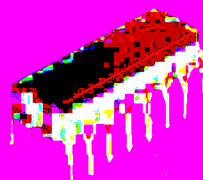
18-19  
maggio 2006  
ore 9/9

elettronica • hardware • software  
materiali di consumo • telefonia  
ricezione satellitare • radiantismo  
componenti • accessori • hobbistica  
dischi cd/dvd e video giochi

Per ottenere un  
INGRESSO RIDOTTO  
scarica il biglietto dal  
sito [www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it)  
o presenta questa  
inserzione alla cassa



BLU NAUTILUS  
Via S. Maria 10  
06061 Bastia Umbra (Perugia)  
tel. 075/439573



organizzazione  
BLU NAUTILUS srl  
tel. 0541/439573  
[www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it)

Naturalmente questo processo è “nascosto” dal compilatore Mikrobasic in quanto questo si occupa di gestire il tutto riducendone il controllo a poche istruzioni ad alto livello. Ciò costituisce un vantaggio dal punto di vista pratico, perché il programmatore in questo modo non ha bisogno di conoscere l'architettura del controllore. L'ideale sarebbe conoscere il microcontrollore e la sua costituzione a basso livello, saper programmare anche nel linguaggio Assembler ma sviluppare le applicazioni tramite compilatore Mikrobasic per ottenere una maggior velocità nello sviluppo.

## LE FUNZIONI BASIC PER L'A/D

Fortunatamente il Mikrobasic è dotato di una sola funzione per il campionamento, che si occupa totalmente della gestione della conversione, generando all'interno del compilatore un codice Assembler davvero sofisticato, liberando ancora una volta l'uomo da questa fatica.

La funzione preposta al campionamento è **Adc\_Read** che inizializza il modulo interno ADC e prevede la seguente sintassi:

```
sub function Adc_Read(dim channel as byte)
as word
```

dove:

- **sub function** indica l'utilizzo di una funzione, con un ritorno di valore al programma chiamante.
- **Adc\_Read** è il nome della funzione vera e propria.
- **Channel** è un valore di tipo byte (0-255) che indica la porta dalla quale si effettua la lettura.
- La funzione ritorna un valore di tipo word, contenente il risultato del campionamento a 10 bit.

Esempio di utilizzo:

```
volt = Adc_Read(1)
```

Naturalmente, per eseguire una lettura da una porta, non basta scrivere questa funzione. Occorre anche commutarla in *input* e specificare che lo stesso input sia di tipo analogico e non digitale, attraverso il registro **Adcon1**. Gli esempi risulteranno tuttavia molto semplici ed esplicativi. Adesso andiamo a fare pratica con la conversione analogico/digitale attraverso degli esempi veramente utili e divertenti.

## LA CONVERSIONE A/D IN PRATICA

Quanto il microcontrollore “legge” una tensione analogica, esegue con delle sofisticate operazioni una *conversione digitale*. Il valore ottenuto è rappresentato da un insieme di bit (solitamente 8, 10, 12, 16 o più). Naturalmente, più sono i bit in questione più preciso sarà il valore acquisito; in altri termini aumenta la risoluzione del dato campionato consentendo una lettura più dettagliata nei conteggi.

Ma come si “pesa” praticamente il valore in input e, soprattutto, come si confronta con altri di valore noto, al fine di far prendere al processore decisioni logiche e comportamenti conseguenti?

Ricorrendo sempre alla matematica, con dei pratici e semplici calcoli.

Il primo parametro da conoscere è la *risoluzione*, ossia a quanti bit il processore deve campionare il segnale. Supponiamo che esso sia di 8 bit. È noto che dalla numerazione binaria, con otto bit si possono formare e rappresentare 256 valori diversi, infatti  $2^8$  dà 256 combinazioni formate dai simboli 0 e 1.

Pertanto con questa risoluzione si possono ottenere 256 “divisioni” della tensione massima: non una in più.

Il secondo parametro da conoscere è il *range* della tensione da misurare: un valore  $V_{min}$  determina la tensione minima teorica possibile, anche negativa se necessario.

Solitamente è fissato a 0 Volt, ossia al potenziale di massa; un valore  $V_{max}$ , definito anche potenziale di riferimento, o  $V_{ref}$ , determina invece la tensione massima teorica possibile, solitamente fissata a 5 volt e, in ogni caso, compatibile con le specifiche del microcontrollore.

Si supponga che la tensione da misurare sia di 3,3 Volt. Quale rappresentazione digitale avrà questo valore? Basta applicare una semplice equazione:

$$V_{ref} : VDig_{Max} = V_{in} : x$$

dove:

- $V_{ref}$  è il potenziale di riferimento o massimo, solitamente fissato a 5 Volt.
- $VDig_{Max}$  è il massimo valore digitale teorico possibile e con una risoluzione di 8 bit esso ammonta a 255.
- $V_{in}$  è il potenziale di ingresso (proveniente dal trasduttore).



con il patrocinio

**CITTÀ DI ACQUI TERME**

**ASSESSORATO EVENTI**

**MANIFESTAZIONI E SPETTACOLI**



**ASSOCIAZIONE RADIOAMATORI**

**SEZIONE DI ACQUI TERME**

**TECNOACQUI 2006**

[www.tecnoacqui.it](http://www.tecnoacqui.it)

**4<sup>a</sup> FIERA  
DEL RADIOamatore**

**MATERIALE  
RADIOAMATORIALE  
ELETTRONICO  
INFORMATICO  
SATELLITARE  
TELEFONICO  
NUOVO ED USATO**



Codice MIP 249053

**Con Stands Astrofili e  
Mostra Scambio Materiale Radiantistico**

**18/19 marzo 2006 - ACQUI TERME  
CENTRO FIERE "EX KAIMANO"**

orario 9,00 - 18,00

da cui si ricava:

$$5 : 255 = 3,3 : x$$

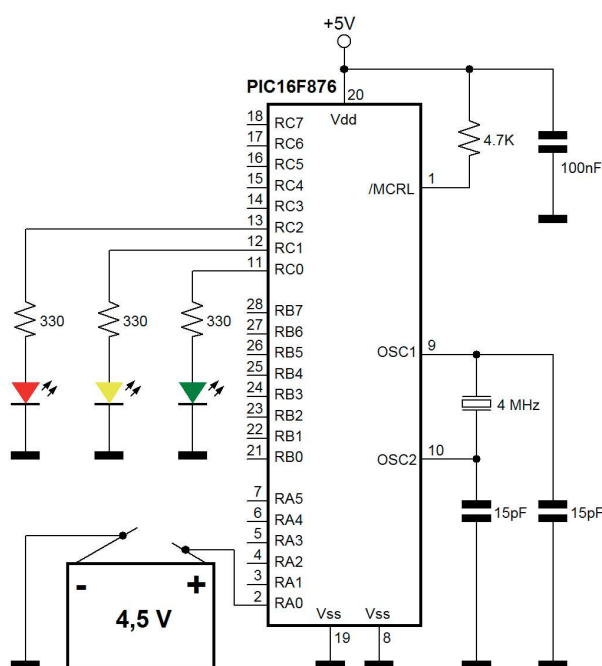
quindi:

$$x = 168$$

Pertanto il valore 168 (senza decimali) è il valore digitale corrispondente al valore analogico 3,3 Volt in ingresso. Il programmatore deve riferirsi ad esso per creare condizioni di scelta all'interno del programma scritto. In tabella 1 è presente una comparazione tra valori analogici e

Tensione da acquisire (Volt)	Valore digitale decimale (8 bit)	Valore digitale decimale (10 bit)
0,0	0	0
0,5	26	102
1,0	51	205
1,5	77	307
2,0	102	409
2,5	128	512
3,0	153	614
3,5	179	716
4,0	204	818
4,5	230	921
5,0	255	1023

**Tabella 1** Corrispondenze tra valori analogici e digitali nella conversione A/D



**Figura 5** Schema elettrico del monitor per batteria

digitali con varie risoluzioni.

## PRIMA ESPERIENZA: MONITOR DI LIVELLO PER BATTERIA

Un microcontrollore si presta ottimamente per questo tipo di applicazioni: un monitor che segnali lo stato di una batteria di 4,5 Volt fornendo la segnalazione attraverso tre diodi led colorati.

Senza la sua presenza occorrerebbe realizzare un sofisticato circuito dotato di almeno tre operazionali collegati a finestra multipla per comparare la tensione e fornire la risposta all'operatore.

Ma il nostro circuito fa molto di più.

In dettaglio ecco le caratteristiche che deve possedere il prototipo che ci accingiamo a realizzare:

- Possibilità di misurare le batterie di 4,5 Volt.
- Monitor composto da tre diodi Led diversamente colorati.
- Il Led verde si illumina se la batteria si trova in uno stato ottimale, cioè se il suo potenziale è compreso tra 3,9 Volt e 4,5 Volt.
- Il Led giallo si illumina se la batteria si trova in uno stato intermedio, cioè se il suo potenziale è compreso tra 3 Volt e 3,9 Volt.
- Il Led rosso si illumina se la batteria si trova in uno stato terminale, cioè se il suo potenziale è compreso tra 2 Volt e 3 Volt: in questo caso essa è sicuramente da gettare.
- Inoltre se la tensione della batteria si trova compresa tra 1 Volt e 2 Volt, il led rosso lampeggia velocemente indicando la condizione critica della stessa.
- Infine se la tensione della batteria supera i 4,5 Volt (evenienza possibile solo quando essa è nuova) il diodo led verde lampeggia velocemente indicando un esubero di energia.
- Nessun diodo si illumina se la batteria non è collegata o se la sua tensione è minore di 1 Volt.

### Schema elettrico

Lo schema da realizzare è rappresentato in figura 5 e di seguito analizzato

Alla porta A.0 del PIC16F876 è collegata la sorgente analogica, nel nostro caso la batteria da misurare, che fornisce una tensione continua compresa tra 0 Volt e 4,7 Volt.

Alla porta C.0 è collegato il diodo led verde, attraverso la resistenza di limitazione da 330

Varie condizioni della tensione della batteria da 4,5 Volt in esame (Volt)	Corrispondente tensione espressa in un valore a 10 bit	Segnalazione del monitor
$\geq 0$ e $< 1$	$\geq 0$ e $< 205$	I led restano spenti
$\geq 1$ e $< 2$	$\geq 205$ e $< 409$	Il led rosso lampeggia velocemente
$\geq 2$ e $< 3$	$\geq 409$ e $< 614$	Il led rosso è acceso
$\geq 3$ e $< 3,9$	$\geq 614$ e $< 798$	Il led giallo è acceso
$\geq 3,9$ e $\leq 4,5$	$\geq 798$ e $\leq 921$	Il led verde è acceso
$> 4,5$	$> 921$	Il led verde lampeggia velocemente

**Tabella 2** Possibili misurazioni di una batteria di 4,5 Volt ( $V_{ref} = 5$  Volt)

ohm. Alla porta C.1 è collegato il diodo led giallo e alla porta C.2 è collegato il diodo led rosso. Utilizziamo tale configurazione hardware per predisporre correttamente il listato Basic.

#### Analisi del software

Quando una batteria da 4,5 Volt si collega all'ingresso del monitor il microcontrollore deve valutare la differenza di potenziale presente tra i suoi capi. Grazie ad un opportuno software

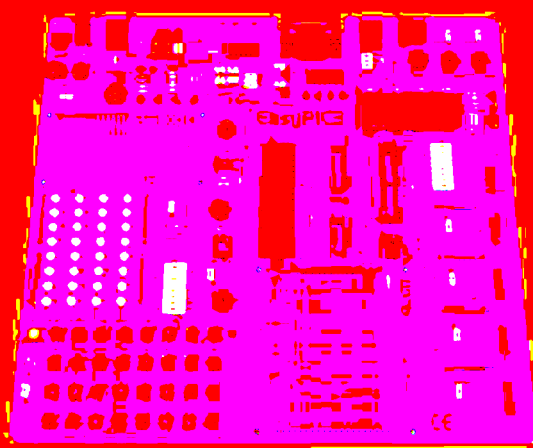
scritto allo scopo si produrrà un risultato dipendente proprio da questa tensione.

Vediamo pertanto di tracciare una sorta di elenco molto generale per dettare i passi più importanti da seguire:

- Inizializzazione delle porte e delle funzioni A/D.
- Lettura e memorizzazione della tensione esterna.
- Valutazione della stessa.
- Azione da intraprendere in conseguenza.



## Scheda easyPIC3



### La rivoluzionaria scheda di sviluppo per PICmicro

- ✓ Programmatore USB2.0 on-board
- ✓ Tastiera a 32 tasti
- ✓ 32 LED per il monitoraggio degli I/O
- ✓ 4 cifre LED a 7 segmenti
- ✓ Predisposizione per moduli LCD alfanumerici
- ✓ Predisposizione per moduli LCD grafici
- ✓ Predisposizione per comunicazione RS232
- ✓ Predisposizione per tastiera PS2
- ✓ Predisposizione per sensore di temperatura DS1820
- ✓ Supporto per tutte le famiglie PIC (anche PIC10F)\*
- ✓ Predisposizione per comunicazione USB
- ✓ Alimentazione esterna o via USB
- ✓ Fornita con 16F877
- ✓ Disponibile con o senza display

Ordinala subito su [www.farelettronica.com](http://www.farelettronica.com) oppure telefona allo 02.66504794



[Listato 1]

```

program AD

rem Monitor di controllo per
rem batteria da 4,5 Volt
rem Le possibili condizioni e risposte
rem sono le seguenti:
rem Se volt >= 0 e < 1      i led restano spenti
rem Se volt >= 1 e < 2      il led rosso lampeggia veloce
rem Se volt >= 2 e < 3      il led rosso è acceso
rem Se volt >= 3 e < 3.9 il led giallo è acceso
rem Se volt >= 3.9 e <= 4.5 il led verde è acceso
rem Se volt > 4.5      il led verde lampeggia velocemente

dim volt as word 'Variabile che contiene i Volt letti

ADCON1=$80      'Configura la PORTA come input analogico
TRISA=%1111111 'Tutti i bit della PORT-A sono in input
TRISC=0         'Tutti i bit della PORT-C sono in output
PORTC=0         'Azzera la PORT-C

while true      'Ciclo infinito
    volt=adc_read(0) 'LEGGE IL VALORE ANALOGICO DA RA.0
    delay_ms(10)    'Piccola pausa per non stressare l'ADC

    rem -----Prima condizione-----
    if (volt>=0) and (volt<205) then
        PORTC=0      'Spegne tutti i led
    end if

    rem -----Seconda condizione-----
    if (volt>=205) and (volt<409) then
        PORTC=0      'Spegne eventuali led accesi
        PORTC.2=1     'Accende led rosso
        delay_ms(100) 'Aspetta 1 decimo di secondo
        PORTC.2=0     'Spegne led rosso
        delay_ms(100) 'Aspetta 1 decimo di secondo
    end if

    rem -----Terza condizione-----
    if (volt>=409) and (volt<614) then
        PORTC=0      'Spegne eventuali led accesi
        PORTC.2=1     'Accende led rosso
    end if

    rem -----Quarta condizione-----
    if (volt>=614) and (volt<798) then
        PORTC=0      'Spegne eventuali led accesi
        PORTC.1=1     'Accende led giallo
    end if

```



```
rem -----Quinta condizione-----
if (volt>=798) and (volt<=921) then
    PORTC=0          'Spegne eventuali led accesi
    PORTC.0=1        'Accende led verde
end if

rem -----Sesta condizione-----
if (volt>921) then
    PORTC=0          'Spegne eventuali led accesi
    PORTC.0=1        'Accende led verde
    delay_ms(100)    'Aspetta 1 decimo di secondo
    PORTC.0=0        'Spegne led verde
    delay_ms(100)    'Aspetta 1 decimo di secondo
end if

wend

end.
```

Riassumiamo in tabella 2 le possibili situazioni che si possono verificare durante la misura di una batteria e la conseguente risposta del circuito da parte del microcontrollore.

Invitiamo il lettore a leggere e comprendere bene questa tabella, ponendo particolare attenzione agli **operatori di confronto**.

Tutto il programma itera attorno alla lettura esterna del valore della tensione (tramite conversione A/D) e relativa decisione di comportamento. L'intero algoritmo si trova all'interno di un ciclo infinito, permettendo così la ripetizione continua degli eventi e dei test ottenendo una risposta stabile e in tempo reale.

### Il programma Basic

Il listato 1, riccamente commentato, risulta semplice ma nello stesso tempo molto didattico. L'intero ciclo nel quale è contenuto il programma si ripete all'infinito, per cui una variazione dello stato della batteria sottoposta al test è subito rilevata dal circuito.

Il suo funzionamento è quindi in tempo reale. Particolare importanza riveste il registro **ADCON1** che, contenendo il valore proposto nel listato, consente di configurare la PORT-A come digitalizzatore analogico.

### Commenti all'utilizzo

Dal momento che una batteria si scarica dopo molti giorni si può simularla, al fine di velocizzare il processo di testing, connettendo diretta-

mente al pin RA.0 il nodo centrale di un potenziometro da 10K utilizzato come partitore resistivo (e collegando gli altri due terminali rispettivamente a massa e Vcc) oppure usando un semplice alimentatore regolabile con continuità. In questa maniera si notano subito le diverse reazioni del circuito alle diverse tensioni della sorgente da analizzare.

Inoltre si ricorda che per poter valutare correttamente lo stato di una batteria è opportuno collegarla ad un carico fittizio poiché l'indicazione a vuoto (senza carico) non fornisce mai un riferimento utile.

### Note per la programmazione

Nel creare il progetto, e di conseguenza il listato basic, il lettore non dimentichi di selezionare il *device* PIC16F876 nell'ambiente del Mikrobasic e naturalmente nel programmatore collegato al computer (figura 6).

### SECONDA ESPERIENZA: TERMOMETRO SEMPLICE (VERSIONE BASE)

Cimentiamoci adesso nella realizzazione di un prototipo di un preciso termometro da utilizzare per misurare la temperatura ambiente. Quale elemento sensore alla temperatura si utilizza l'integrato LM 335.

Non è prevista, in questa versione, la visualizzazione delle misure rilevate poiché ci preme maggiormente l'aspetto pratico e didattico. Il

termometro in questione deve eseguire i seguenti compiti:

1. Rilevare la temperatura ogni ora.
2. Memorizzare la temperatura (o meglio il suo dato digitale corrispondente) in Eeprom.
3. Ad ogni memorizzazione deve lampeggiare il diodo led per 10 volte, molto velocemente.
4. Aspettare per un ora (ciclo di attesa).
5. Ripetere il ciclo per 24 ore.
6. Infine si deve illuminare un led (inizialmente spento) indicando il termine delle operazioni di rilevazione.

L'operatore umano, da parte sua, alla fine delle misurazioni (quindi dopo 24 ore) deve eseguire i seguenti passi, per ottenere il prospetto delle temperature giornaliere:

1. Leggere manualmente le 24 celle della Eeprom che contengono le 24 temperature, con un apposito hardware e programma.
2. Copiare questi valori su un foglio elettronico.
3. Convertire i valori digitali ottenuti in una corrispondente notazione analogica adatta a rappresentare correttamente le temperature.
4. Tracciare un grafico per fornire una valutazione visuale dell'intero processo.

Questa prima versione del termometro è puramente didattica, infatti le varie operazioni di decodifica e di calcolo sono alquanto macchinose, ma contribuiscono a fornire un'esatta

visione d'insieme su tutto ciò che accade all'interno del microcontrollore.

## Schema elettrico

Lo schema da realizzare è rappresentato in figura 8. Alla porta A.0 del PIC16F876 è collegata l'uscita del termometro (analogico).

Nel prossimo paragrafo viene approfondito l'utilizzo dello stesso.

Alla porta C.0 è collegato il diodo led verde, attraverso la resistenza di limitazione da 330 ohm., che ha il compito di visualizzare le operazioni di rilevamento in corso e di fine lavoro.

Il termometro è collegato a massa tramite il suo dell'anodo e a Vcc (5 Volt) tramite il suo catodo, attraverso la resistenza di limitazione da 2,2 K che assicura anche l'esatto flusso di corrente (circa 1mA) per un corretto funzionamento.

## Il termometro LM335

Si presenta come un comune transistor al silicio, munito di tre piedini. Si tratta invece di un complesso circuito

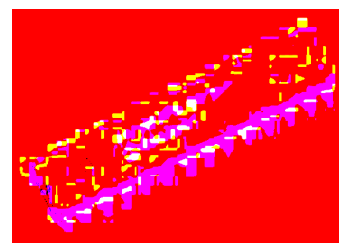


Figura 7 Il PIC16F876

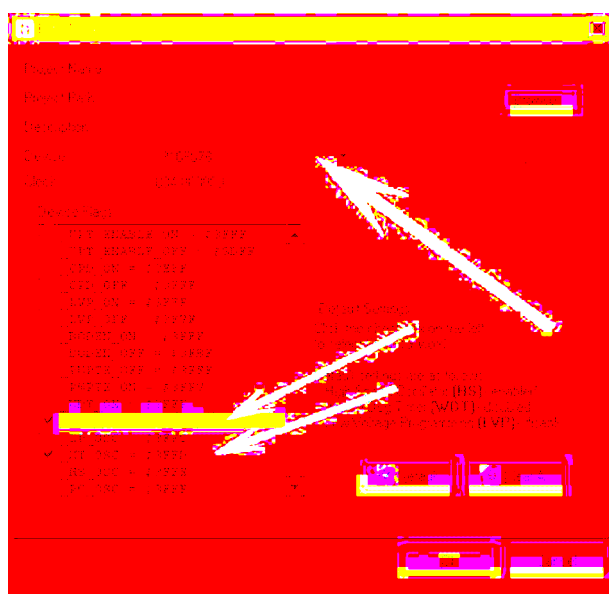


Figura 6 Le specifiche del progetto

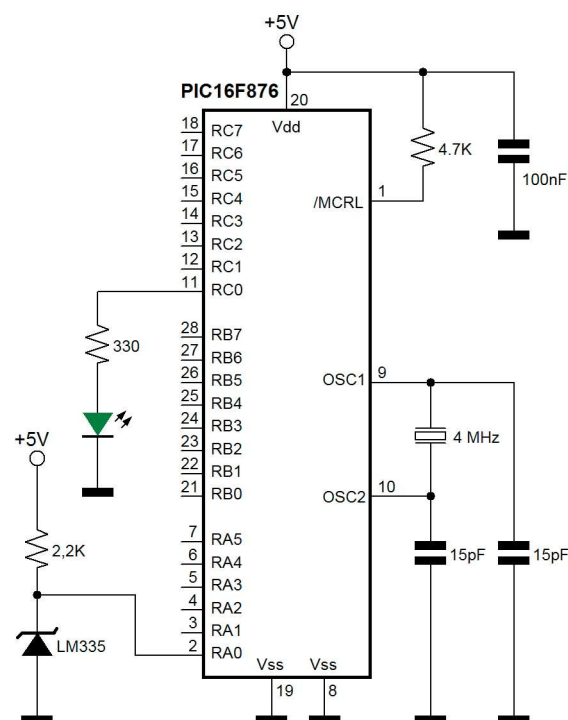


Figura 8 Schema elettrico del termometro didattico

con il patrocinio del  
Ministero delle  
Comunicazioni

mostra mercato

# EXPO Elettronica

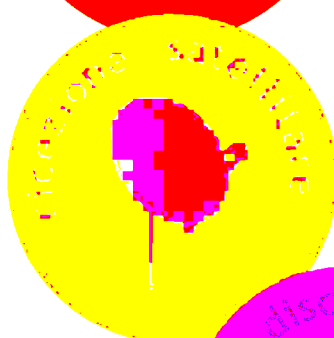
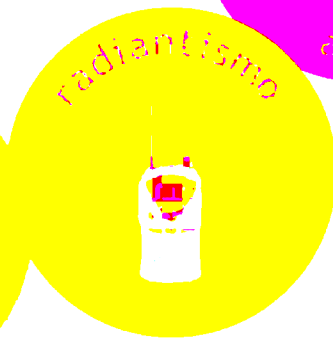
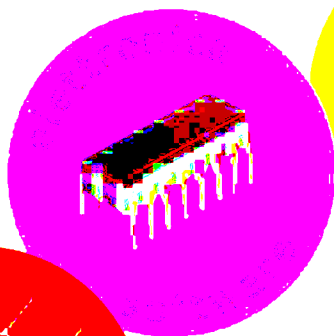
® 2006

## ERBA 1•2 aprile

(Como) ore 9/18

ORGANIZZAZIONE  
FIERE  
V.le Resegone, 3

organizzazione  
BLU NAUTILUS srl  
tel. 0541 439573  
[www.blunautilus.it](http://www.blunautilus.it)



dalle ore 10,30  
Dimostrazioni e  
spiegazioni di utilizzo  
di software libero



Gruppo GLUX  
Gruppo Lecco Utenti Linux  
[www.techlinux.it](http://www.techlinux.it)  
con il supporto tecnico di [vetopen.it](http://vetopen.it)

Per ottenere un INGRESSO SIBODOTTO  
scarica il biglietto dal sito  
[www.blunautilus.it/fiere/114](http://www.blunautilus.it/fiere/114)  
o presentati direttamente alla cassa

integrato contenente un preciso termometro analogico calibrato e regolabile esternamente. Dal costo estremamente contenuto può essere utilizzato in qualsiasi sistema analogico ma anche essere adattato ad un prototipo digitale, con una difficoltà maggiore (come nel nostro caso).

Viene utilizzato come un diodo zener e la sua precisione è molto elevata, infatti assicura un margine di errore al di sotto dell'1%. Ma soprattutto l'andamento della misura è costantemente **lineare**.

Il suo unico neo (se di neo si può parlare) è quella di fornire la misura considerando la scala termometrica *Kelvin* e non *Celsius*, ma con alcune operazioni aritmetiche questo problema viene brillantemente risolto.

Il suo funzionamento tipico è il seguente: se tarato correttamente (ma solitamente non ha bisogno di questa operazione) la sua uscita fornisce

una tensione di 2,98 V ad una temperatura di 25°C.

La sua variazione ammonta a 10 mV per ogni grado Kelvin di variazione. Per maggiori dettagli, e soprattutto per la sua taratura, si consulti

il data-sheet fornito dalla casa produttrice che riporta anche alcuni schemi applicativi.

### Gradi Kelvin e gradi Celsius

Fortunatamente, per convertire una misura da gradi Kelvin a Celsius, o viceversa, non occorre eseguire alcuna proporzione.

La scala Kelvin è solamente teorica in quanto non è utilizzata per misurare fenomeni meteorologici ma solo fenomeni fisici (infatti 0 gradi Kelvin, ovvero lo zero assoluto, corrisponde a -273,15 gradi Celsius).

Per convertire le misure da un sistema ad un altro occorre semplicemente eseguire le seguenti operazioni:

1. Gradi Celsius = Gradi Kelvin - 273
2. Gradi Kelvin = Gradi Celsius + 273

Dal momento che il sensore possiede una variazione interna del potenziale equivalente a 10mV per grado (centigrado o Kelvin è la stessa cosa) ma lo stesso è tarato per la scala Kelvin, occorre sottrarre dal suo potenziale di risposta il valore 2,73 per ottenere la misura espressa in gradi centigradi.

Con un esempio chiariamo meglio il concetto. Si supponga di misurare, attraverso un tester, il potenziale di 3,12 Volt dall'uscita del sensore. Si comprenda come i decimali siano molto importanti ai fini della rilevazione per cui non si devono eliminare. Questo differenza di potenziale equivale esattamente a 312 gradi Kelvin (infatti  $3,12 : 0,01$  dà esattamente 312).

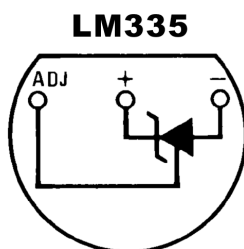
Per ottenere la misura in gradi centigradi basta eseguire la sottrazione  $312 - 273$  per ottenere il risultato più utile in Celsius (ossia 39° C).

### Diagramma di flusso

In figura 11 è raffigurato un diagramma di flusso che facilita la comprensione delle varie fasi eseguite dal microcontrollore mediante il programma scritto in Basic.

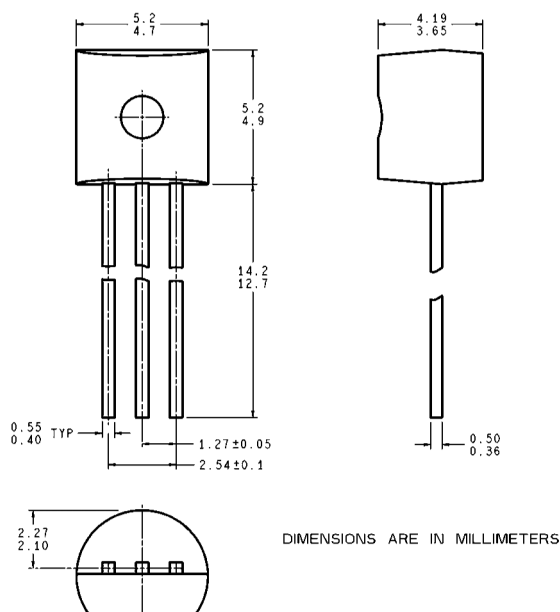
### Il programma

Quanto detto sino ad ora fornisce le basi per la costruzione di un rudimentale ma preciso termometro digitale. Da notare che il software non effettua nessun tipo di conversione termometrica ma salva su Eeprom il dato grezzo, così come lo riceve dal sensore. Sarà cura poi dell'operato-



Bottom View

Figura 9 Connessioni LM335 (viste da sotto)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

Figura 10 Dimensioni fisiche LM335



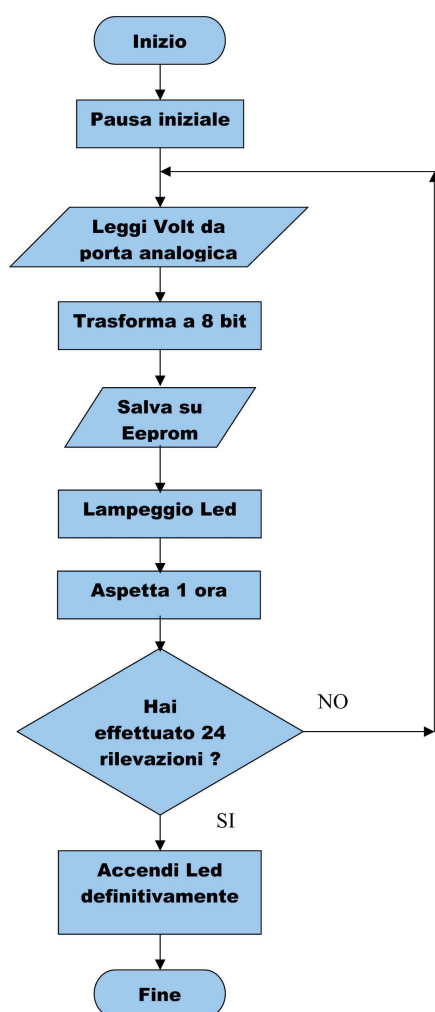


Figura 11 Diagramma di flusso del progetto termometro

re eseguire i calcoli per la conversione attraverso un foglio elettronico.

Il listato 2 riporta il software da trascrivere nell'editor del compilatore. Studiatelo molto attentamente per comprendere la funzione di tutte le variabili coinvolte e delle varie routine utilizzate. Particolare attenzione meritano due blocchi del programma: la parte che si occupa della rilevazione della temperatura e quella della memorizzazione su Eeprom.

Si esamini la prima: dopo la lettura dell'ingresso analogico, il valore (campionato a 10 bit) è memorizzato nella variabile volt. Occorre però sottolineare che questo dato è troppo grande per essere ospitato nella Eeprom (che accetta invece solamente valori di 8 bit). Occorre pertanto adeguare la misura a tale grandezza semplicemente dividendo il numero per quattro. In questa maniera il dato rilevato avrà un valore massimo di 255 contro i 1023 iniziali ma in que-

sto modo può essere correttamente memorizzato sulla Eeprom. Si effettua in altre parole uno shift a destra, ossia uno slittamento di bit verso destra di due posizioni con la conseguenza di dividere per quattro l'informazione. Unico neo di questa operazione è una perdita di risoluzione del 75%.

La seconda parte invece si occupa della memorizzazione permanente sulla memoria interna del PIC, ossia la sua Eeprom. Il dato è memorizzato partendo dalla prima cella (indirizzata con zero) sino all'ultima (indirizzata con 23). Si spiega pertanto la costruzione della variabile *indirizzo* attraverso la clausola *ciclo-1*, proprio per non lasciare vuota la prima locazione.

Infine l'attesa di un'ora (per scandire il tempo intercorrente tra le due misurazioni) è affidata ad un ciclo che esegue per 3600 volte la pausa di un secondo (equivalente appunto a un'ora). Questo perché, allo stato attuale, il compilatore non accetta funzioni del tipo:  
`delay_ms(3600000)`

### Lettura e rappresentazione delle temperature

Bene, trascorse 24 ore dall'esecuzione del programma su PIC, sono stati registrati 24 valori digitali, ognuno dei quali "depositato" nella propria cella e rappresentante il valore letto della tensione del sensore.

Con un software di lettura/scrittura MCU si effettui la lettura della memoria, come rappresentato in figura 12.

Come si può notare, le 24 temperature sono state correttamente registrate nella zona gialla contrassegnata dal cerchio rosso.

Ma quale è la procedura (manuale) per convertire tali valori in corretta rappresentazione di gradi centigradi? Seguiamo questo iter di calcoli, facendoci aiutare eventualmente da un foglio elettronico ed esaminando il primo valore nell'indirizzo 0 della Eeprom (8D).

Questo valore rappresenta, come detto prima, la tensione misurata all'ingresso analogico e depositato qui senza alcuna conversione, se non quella analogico/digitale. Pertanto esso ha una risoluzione di 8 bit.

Si eseguano i seguenti passi:

1. Convertire il valore esadecimale letto (8D) in equivalente notazione decimale:  $8D_{16} = 141_{10}$

2. Adeguare tale valore al range 0-5 con una proporzione:  $141 \times 5 : 255 = 2,76$  (questa è la reale tensione misurata).
3. Moltiplicare tale tensione per 100 per convertirla in gradi Kelvin:  $2,76 \times 100 = 276^\circ \text{ K}$ .
4. Sottrarre da tale valore 273 per ottenere il corrispondente grado Celsius:  $275 - 273 = 3^\circ \text{ C}$ .

Sembra una procedura complicata ma automatizzandola con opportuni software di calcolo si eviteranno perdite di tempo ed eventuali errori. La procedura sopra elencata serve anche a determinare i gradi sotto lo zero. Guardiamo la tabella 3 dove sono riportati i calcoli effettuati.

[Listato 2]

```
rem Semplice termometro

dim volt as word  'Variabile che contiene i Volt letti
dim ciclo as byte 'Conta numero di rilevazioni
dim indirizzo as byte 'Contiene indirizzo Eeprom
dim k as word      'Variabile di comodo

ADCON1=$80      'Configura la PORTA come input analogico
TRISA=%11111111 'Tutti i bit della PORT-A sono in input
TRISC=0          'Tutti i bit della PORT-C sono in output
PORTC=0          'Azzera la PORT-C

delay_ms(1000)    'Pausa iniziale 1 secondo
for ciclo=1 to 24 'Esegue per 24 volte

    rem -----Lettura da ingresso analogico-----
    volt=adc_read(0) 'LEGGE IL VALORE ANALOGICO DA RA.0
    volt=volt/4       'Trasforma da 10 bit a 8 bit (byte)

    rem ---Memorizza il dato acquisito su Eeprom---
    indirizzo=ciclo-1
    Eeprom_Write(indirizzo,volt)

    rem ---Il led Lampeggia 10 volte velocemente---
    for k=1 to 10
        PORTC.0=1      'Accende il led
        delay_ms(250)  'Piccola pausa
        PORTC.0=0      'Spegne il led
        delay_ms(250)  'Piccola pausa
    next k

    rem -----Attesa di un ora (3600 secondi)
    for k=1 to 3600
        delay_ms(1000) 'Pausa di attesa
    next k

next ciclo

PORTC.0=1      'Accende definitivamente il LED

end.
```

# Le so tutte!!!



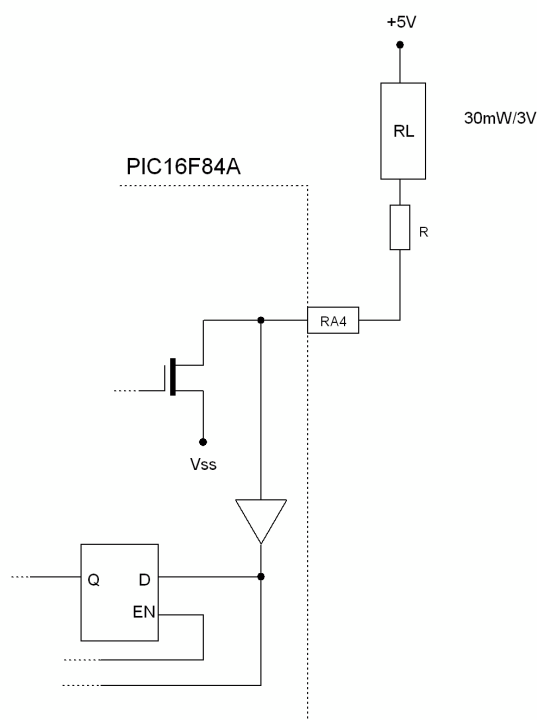
Metti alla prova le tue conoscenze e le tue capacità rispondendo al quesito, se la risposta si rivelerà esatta potrai vincere l'esclusiva felpa pile di Fare Elettronica. Tutti i partecipanti riceveranno un coupon del 10%\* di sconto utilizzabile per un acquisto nello shop di [www.farelettronica.com](http://www.farelettronica.com).

\* Validità 3 mesi



## Quesito - LST24913

In figura è riportato lo stadio di uscita della RA4 di un PIC16F84A a cui è connesso un carico RL da 30mW funzionante a 3V. Poiché il PIC è alimentato a 5V si è reso necessario inserire una resistenza in serie al carico per limitarne la corrente. Sapendo che la tensione minima in uscita dal PIC è pari a 0,5V, si richiede il dimensionamento della resistenza R in modo che il carico funzioni nelle condizioni nominali.



Scadenza: il termine ultimo per rispondere è il 31 Marzo 2006

Livello di difficoltà: Basso

### Regolamento

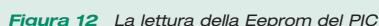
- 1) Il quiz è aperto a tutti i lettori.
- 2) Saranno considerate esclusivamente le risposte pervenute entro la scadenza indicata nel quesito.
- 3) Inviare la risposta compilando il modulo su [www.farelettronica.com/lesotutte](http://www.farelettronica.com/lesotutte).

## Risposta al quesito codice LST24812

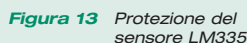
Il filtro notch è un filtro elimina-banda caratterizzato da una banda molto stretta, per questo motivo è in grado di reiettare tutti i segnali aventi una frequenza molto vicina alla frequenza di taglio del filtro. Nel caso trattato si deve eliminare la frequenza di rete quindi la frequenza di taglio del filtro sarà pari a 50Hz. Poiché la frequenza di taglio è data da  $F_T = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C)$  avendo scelto  $C = 47\text{nF}$  dovrà essere  $R = 67,7\text{k}\Omega$ .

**Il vincitore di GENNAIO 2006 (Vincitore LST24711)**

**I nostri complimenti a Vito Mancusi di Avigliano (PZ) che vince la Felpa di Fare Elettronica!**



L'unica nota dolente, utilizzando questo metodo, è la perdita di risoluzione del digitalizzatore, infatti si è considerata l'informazione a 8 bit e non più a 10 bit, per adeguare la misura alla capacità



Si consiglia di inserire il sensore di temperatura in una idonea copertura attraverso una guaina in gomma termo-restringente, per aumentarne la protezione contro agenti atmosferici (figura 13).

Elenchiamo pertanto una serie di punti su cui il lettore dovrebbe meditare e soffermarsi durante lo sviluppo delle sue applicazioni:

1. Il PIC16F876 fornisce un'accurata rappresentazione della tensione in ingresso a 10 Bit; ciò vuol dire che la variabile utilizzata contiene un valore disponibile su un range da 0 a

**Tabella 3** Procedura di conversione da segnale LM355 a gradi Centigradi

1023, equivalente ad una tensione variabile da 0 a 5 Volt. Ci si riferisca pertanto a questo valore per decisioni logiche ed elaborazioni in genere.

2. Nel trattare un grandezza analogica, ad esempio la temperatura, conviene rilevare più valori in più unità di tempo ed effettuare la media aritmetica. Ciò contribuisce ad aumentare la precisione della lettura.
3. Se si deve campionare un segnale con tensione superiore a 5 Volt, lo stesso deve essere adeguato al range sopportato dal PIC attraverso un partitore resistivo variabile di precisione.
4. È possibile campionare più segnali contemporaneamente dalla PORT.A anche se ciò comporta una maggiore difficoltà di programmazione.

## CONCLUSIONI

In passato l'operazione di campionamento era una delle più complicate. Con l'avvento dei circuiti integrati, e quindi dei comparatori, tale compito è

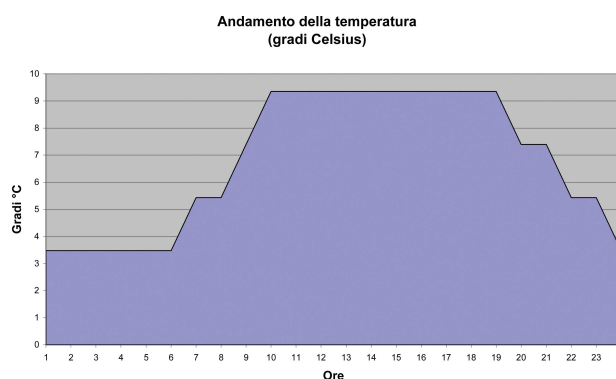


Figura 14 Il grafico dell'andamento della temperatura

diventato sempre più semplice.

Oggi, con la comparsa dei microcontrollori, ma ancor di più, dei compilatori che rendono semplice la vita del programmatore, la conversione di un segnale da analogico a digitale è proprio un gioco da ragazzi. Basta solamente organizzare e pianificare il lavoro di analisi.

Buona sperimentazione a tutti.

**Codice MIP 249048**

**IL GIGANTE**

Il giocattolo si evolve: parla, canta, balla, gioca, raccoglie e lancia oggetti e fa persino mosse di kung fu. Si chiama Robosapien V2 e rappresenta la nuova generazione di robot per il divertimento domestico, presentati in anteprima al CES di Las Vegas. Dotato di videocamera e radar a infrarossi, il robotino alto 60 cm è in grado anche di riconoscere le persone, interagendo con loro.

**IL GIGANTE PIÙ PICCOLO**

Fratello più piccolo del Robosapien! Questo piccolo robot ha funzionalità limitate rispetto al grande Robosapien, ma è fantastico per gli appassionati di Robosapien. Misura appena 18 centimetri di altezza e può camminare. I suoi caratteristici occhi rossi si illumineranno mentre cammina. Le pinze di presa funzionano con i tasti meccanici ed i relativi bracci possono essere spostati su e giù usando gli scanner sulla parte posteriore delle sue spalle. Il mini Robosapien utilizza due batterie AAA.

**IL GIGANTE PIÙ PICCOLO**

Robosapien V1 è un mini Robot Androide progettato da Mark Tilden, creatore dei Robots B e a.m. e degli stupefacenti B.I.O. Bugs. Robosapien compie Movimenti e gesti fluidi, camminata veloce e dinamica a due velocità: braccia completamente funzionali con due tipi di presa delle mani, 67 funzioni pre-programmate: presa, lancio, calcio, danza, kung-fu, aerofagia, eruttazione, rap e molte altre ancora, 4 modalità di programmazione, 3 modalità dimostrative.

**IL MICROBOT PICAXE**

Il Microbot Picaxe consiste in una base in plastica di 120 X 80mm che include 2 motoriduttori (rapporto 42:1) con relative ruote in gomma e ospita 4 batterie stilo, una scheda che è composta da un PICAXE 18 (espandibile con un PICAXE 18X) un chip che genera automaticamente gli impulsi PWM per comandare i motori e un chip di potenza che pilota i due motori (L293D). La funzione PWM è molto interessante in quanto permette di modulare la velocità dei motori in modo molto graduale, senza impegnare il PICAXE, lasciando quindi spazio al programma di gestione dei sensori e della logica del Robot. Sono disponibili ben 5 Input per collegare vari sensori e 4 Output. La scheda è, inoltre, provvista del comodo connettore da 3.5mm stereo, per la programmazione seriale, in questo modo tutte le operazioni di programmazione e debug avvengono in modo rapido e sicuro.

Visitate il nostro sito: **WWW.IDEAEELETRONICA.IT**



# CAMPAGNA

2006

# ABBONAMENTI



**1**  
**ANNO**  
**×**  
**11**  
**RIVISTE**  
**=**

L'abbonamento a soli **€ 45,00**

invece di €60,50

**CON UN RISPARMIO DEL**

# 25%

# Abbonati subito!

# ...MA ASPETTA, NON È TUTTO!

**ABBONATI o RINNOVA OGGI**  
**IL TUO ABBONAMENTO A FARE ELETTRONICA**  
**INSIEME A FIRMWARE**  
**LA NUOVA RIVISTA DI INWARE EDIZIONI**



fare  
elettronica  
+  
Firmware  
=

**I due abbonamenti a soli € 69,50**  
**RICEVERAI 22 RIVISTE CON UN RISPARMIO DI BEN €57,00 SUL PREZZO DI COPERTINA**

**A grande richiesta, l'offerta è stata prorogata  
fino al 31 Marzo 2006**

**Compila oggi stesso il coupon che trovi in ultima pagina o  
abbonati su [www.farelettronica.com/abbonamento](http://www.farelettronica.com/abbonamento)**

**INWARE**  
EDIZIONI

Quinta parte  
n° 248 - Febbraio 2006  
**Interfaccia con display  
a sette segmenti**

Sesta parte  
n° 249 - Marzo 2006  
**Macchine a stati finiti**

Settima parte  
n° 250 - Aprile 2006  
**La comunicazione seriale**

# CPLD by Example

68

Pratica

**D**opo aver messo a punto il circuito di sviluppo hardware con la relativa interfaccia di programmazione e il modulo a display, in questa puntata ci soffermiamo su un argomento teorico, quello della codifica delle Macchine a Stati.

## CHE COSA SONO?

La Macchina a Stati Finiti (in inglese Finite State Machine, o FSM) è un circuito sequenziale specificamente disegnato per effettuare una successione di operazioni attraverso un limitato (da cui il termine *finito*) numero di passi.

Le FSM sono elementi molto frequenti nel progetto hardware. In generale, sono composte da:

- Un set di ingressi.
- Un set di uscite.
- Un certo numero di stati.
- Una legge che fa corrispondere gli stati con gli ingressi e le uscite.

In questo ambito una particolare rilevanza assume la definizione dello stato *iniziale*.

## MODULO 14 TIPOLOGIE DI MACCHINE A STATI

Storicamente si sono definite due categorie principali di FSM, che hanno preso il nome da Edward Moore e George Mealy, i quali studiarono il comportamento di questi circuiti negli anni '50.

La differenza principale tra le due tipologie consiste nel fatto che, mentre per la macchina di Moore le uscite dipendono solo dal valore dello stato corrente, per Mealy le uscite dipendono

dallo stato corrente e dagli ingressi, come si può vedere nella figura 1.

In figura, le aree in azzurro rappresentano porzioni di logica combinatoria (contenenti gates logici elementari) mentre le box gialle rappresentano elementi di memoria (flip-flop).

## Il progetto di FSM

Il concetto di Macchina a Stati è di per sé astratto e può essere implementato con svariate tecniche, da quella meccanica di un orologio a pendolo, a quella software di un programma di calcolo, a quella elettronica di una logica digitale. Un modello di FSM, se ben strutturato funzionerà correttamente e andrà incontro ai requisiti in modo ottimale.

Al contrario, un modello descritto in maniera imprecisa o confusa rischia di non comportarsi secondo le specifiche. Perciò è bene conoscere

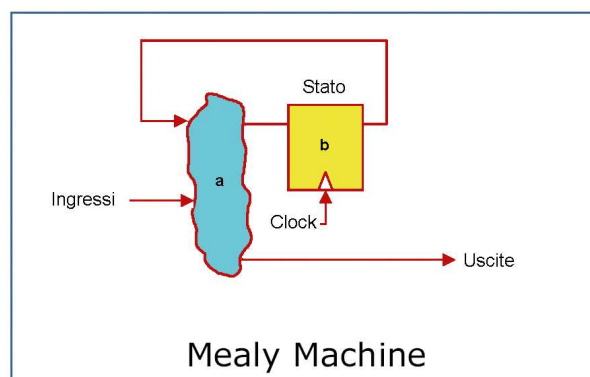
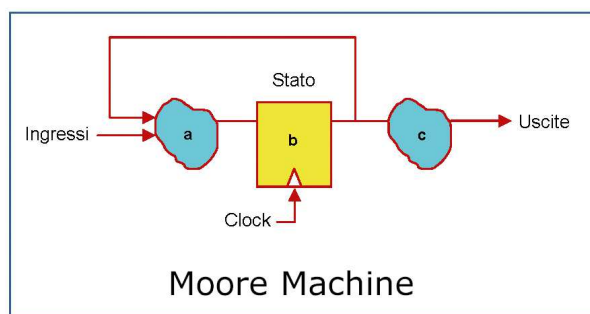


Figura 1 Modelli FSM di Moore e Mealy



# Macchine a stati finiti



di Agostino Rolando

e avere familiarità con gli aspetti fondamentali della modellazione in linguaggio HDL di queste strutture.

## Come si descrivono

Gli aspetti principali della codifica di FSM possono essere così elencati:

- Stile di codifica HDL utilizzato.
- Comportamento al reset e in caso di fault.
- Tipo di codifica degli stati.
- Assegnazione delle uscite di tipo Mealy o Moore.

## Stili di codifica HDL

Vi sono diversi metodi per modellare una determinata macchina a stati. Essenzialmente, il codice HDL si può partizionare in tre differenti porzioni, per rappresentare le parti costituenti della macchina a stati e cioè la logica preposta allo "stato futuro", quella per lo "stato corrente" e infine la logica per la generazione delle uscite.

Il codice si può anche strutturare in modo da accorpate alcune di queste porzioni; ad esempio, la logica per lo stato corrente e quella per lo stato futuro possono essere riunite e mantenute distinte dalla logica di uscita; oppure, lo stato futuro e la logica di uscita possono essere riuniti e tenuti distinti dalla sezione che gestisce lo stato corrente.

In Verilog è anche possibile modellare le tre componenti (stato corrente, stato futuro e logica di uscita) entro un singolo blocco di tipo *always*, tuttavia questa codifica è sconsigliabile perchè poco leggibile.

Per una FSM, di cui si decide di rappresentare lo stato con  $N$  flip-flop, sono a disposizione  $2^N$  numeri binari che possono identificare gli stati. Spesso non tutti i  $2^N$  stati sono necessari; alcuni

vengono scartati e quelli che si utilizzano sono scelti in modo da ottimizzare il funzionamento della FSM.

Per esempio, una Macchina con 6 stati richiede un minimo di 3 flip-flop; dal momento che gli stati possibili sono  $2^3 = 8$ , è evidente che ve ne sono 2 non utilizzati. Il problema della *codifica degli stati* verrà affrontato nel seguito.

Per quanto riguarda la modalità di codifica, in Verilog la logica preposta alla generazione dello stato futuro si modella bene con il costrutto *case*. Inoltre, la clausola di *default* nel *case* consente di assegnare allo stato un valore per le situazioni non previste.

## MODULO 15

### RICHIAMI SUL LINGUAGGIO

### VERILOG: ASSEGNAZIONE BLOCCANTE E NON BLOCCANTE

Prima di affrontare gli esempi concreti, conviene spendere alcune parole sui due tipi fondamentali di assegnazione procedurale (*always*) che Verilog consente, denominati *blocking* e *nonblocking*, traducibili in bloccante e non bloccante.

L'assegnazione di tipo *blocking* si rappresenta con il simbolo "=" ed è caratterizzata dal fatto che, nel momento in cui viene eseguita, tiene "bloccate" le successive assegnazioni, nella procedura "*always*" in cui si trova. Ad esempio, se si incontra l'assegnazione

```
y = a & b;
```

il flusso di esecuzione non prosegue (vengono bloccate le altre eventuali assegnazioni) fino a che non viene completata l'istruzione.

Al contrario, l'assegnazione *nonblocking*, rappresentata dal simbolo "<=", non tiene bloccata l'esecuzione delle successive istruzioni. Come esempio, consideriamo:

```
y <= a & b;
```



69

Pratica

Ne deduciamo che, se si usa l'assegnazione bloccante, il risultato di un set di istruzioni dipende dall'ordine con cui le istruzioni vengono eseguite.

Nel caso non bloccante, invece, il risultato non dipende dall'ordine di esecuzione.

Come esempio chiarificatore consideriamo il caso tipico di un blocco *always*, nell'uno e nell'altro caso:

### Caso di assegnazione di tipo blocking

```
always @(b or c or f or d)
begin
    f = b | c;
    g = f & d;
end
```

L'esecuzione procede in questo modo:

1. Si valuta "b | c", si aggiorna "f" e si passa alla seconda istruzione.
2. Con il nuovo valore di "f", si valuta "f & d" e si aggiorna "g".

### Caso di assegnazione nonblocking

```
always @(b or c or d)
begin
    f <= b | c;
    g <= f & d;
end
```

1. Si valuta "b | c" e si schedula l'aggiornamento di "f" per la fine del time-step.
2. Con il vecchio valore di "f", si valuta "f & d" e si schedula l'aggiornamento di "g" per la fine del time-step.

Con il termine "vecchio valore" intendiamo il valore che la variabile possedeva al di fuori del blocco.

### Regola generale

Utilizzare l'operatore bloccante "=" per la logica combinatoria e l'operatore non bloccante "<=" per la logica sequenziale.

### Event list

Possiamo osservare che, nei casi citati, la lista degli eventi, detta anche lista di *sensitività* (*event list* o *sensitivity list*), è leggermente diversa: in un caso è presente la variabile "f", mentre

nell'altro essa è assente.

Come dobbiamo regolarci, quali variabili vanno inserite? In generale, nella *event list* vanno inserite le variabili che devono far "attivare" il blocco e che quindi concorrono alla funzione logica.

Tuttavia bisogna fare attenzione perchè, a seconda del contesto, il risultato può essere anche molto diverso. Consideriamo alcuni esempi.

### Blocking

```
always @(a or b or c)
begin
    d = a & b;
    e = d | c;
end
```

Nella seconda istruzione, l'assegnazione di "e" usa il valore di "d" calcolato nella prima istruzione.

La variabile "e" non occorre inserirla nella *event list* perchè si determina all'interno del blocco *always* (*buona codifica*).

```
always @(a or b or c)
begin
    e = d | c;
    d = a & b;
end
```

L'ordine delle istruzioni è qui invertito: l'assegnazione di "e" usa il vecchio (=esterno al blocco) valore di "d".

Se l'intenzione era quella di assegnare un valore ad "e", si tratta di una *cattiva codifica*!

### Non Blocking

```
always @(a or b or c)
begin
    d <= a & b;
    e <= d | c;
end
```

L'assegnazione nonblocking schedula l'aggiornamento di "d" per l'immediato futuro; poi, dal momento che "d" non è nella *event list*, ad "e" viene assegnato il vecchio valore di "d" (*cattiva codifica*!).

```
always @(a or b or c)
begin
```





```
e <= d | c;
d <= a & b;
end
```

Come sopra: essendo nonblocking, l'ordine delle assegnazioni non cambia la situazione. Anche questa è una codifica non buona. Vediamo altri esempi.

### Blocking

```
always @(a or b or c or d)
begin
    d = a & b;
    e = d | c;
end
```

L'aver aggiunto "d" nella event list fa retriggerare il blocco quando "d" viene aggiornato (buona codifica).

```
always @(a or b or c or d)
begin
    e = d | c;
    d = a & b;
end
```

L'aver aggiunto "d" nella event list non fa retriggerare il blocco, perchè le istruzioni sono invertite (cattiva codifica).

### Non blocking

```
always @(a or b or c or d)
begin
    d <= a & b;
    e <= d | c;
end
```

oppure:

```
always @(a or b or c or d)
begin
    e <= d | c;
    d <= a & b;
end
```

In entrambi questi casi, l'aver aggiunto "d" nella event list fa sì che l'assegnazione di "e" utilizzi il nuovo valore di "d" perchè il blocco si auto-triggera sull'evento "d" (buona codifica).

## TARGET DELLE ASSEGNAZIONI

Riassumendo i vari tipi di assegnazione in

Verilog, possiamo dire che, nel processo di Sintesi, l'assegnazione di tipo continuo (*assign*) si traduce sempre nel pilotaggio di *wires* a logica combinatoria.

L'assegnazione procedurale (*always*) invece, si traduce nella sintesi di logica combinatoria, flip-flop o latch a seconda del contesto; in particolare:

- Un blocco di tipo *always @ (a or b or...)*, con una event list completa di tutte le variabili, sintetizza in logica combinatoria.
- Un blocco di tipo *always @ (pos/neg edge...)* sintetizza in flip-flop.

Se la event list è incompleta, il blocco viene sintetizzato in logica di tipo *latch*. La logica di tipo latch è sconsigliabile in quanto può portare a imprevedibilità nel timing.

## MODULO 16

### ESEMPIO 1: FSM DI MOORE

#### Temporizzazioni

Per la FSM di Moore assumiamo che i cambiamenti di stato intervengano sul fronte, per esempio, di salita del clock e che le uscite possono variare solo quando cambia lo stato. Inoltre, un passaggio di stato non comporta necessariamente una modifica delle uscite; infatti, si può anche utilizzare un passaggio di stato solo come delay di mantenimento delle uscite già precedentemente settate. Le temporizzazioni sono come da figura 2.

#### Codifica Verilog

Nel seguito adotteremo i termini "*stato*" e "*stato\_futuro*" per indicare rispettivamente il valore dello stato al momento attuale e quello che avrà al successivo colpo di clock.

Facendo riferimento alla figura 3, la codifica Verilog, nella sua forma più semplice, si può

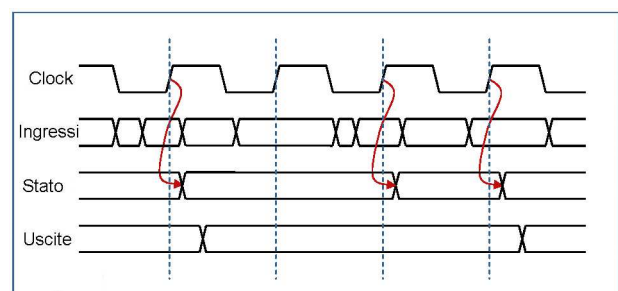


Figura 2 Timing della macchina di Moore

strutturare in 3 blocchi: il primo blocco (a) serve a identificare la logica di tipo combinatorio che produce lo stato futuro, il secondo blocco (b) descrive il passaggio dallo stato corrente verso lo stato futuro, mentre il terzo blocco (c) contiene la logica combinatoria che produce le uscite.

```
/* Moore Machine codificata con
3 blocchi always */

// blocco a): logica combinatoria
// per lo stato futuro
always @(stato or ingressi)
begin
    case (stato)
        stato_1 : if (ingressi==in_1)
            stato_futuro = stato_2;
        stato_2 : if (ingressi==in_2)
            stato_futuro = stato_3;
        stato_3 :
            stato_futuro = stato_1;
    endcase
end

// blocco b): logica sequenziale per
// gestione del registro di stato
always @(posedge clock)
    stato <= stato_futuro;

// blocco c): logica combinatoria per
// le uscite
always @(stato)
begin
    case (stato)
        stato_1:
            uscite = out_1;
        stato_2 :
            uscite = out_2;
        stato_3 :
            uscite = out_3;
    endcase
end
```

```
stato_1:
    uscite = out_1;
stato_2 :
    uscite = out_2;
stato_3 :
    uscite = out_3;
endcase
end
```

La *sensitivity list* del blocco *always* combinatorio a) è sensibile ai cambiamenti sullo stato e sugli ingressi. Il blocco sequenziale b) si attiva sul fronte di salita del clock. Inoltre, il blocco c) di uscita assegna le uscite in base allo stato in cui ci si trova.

### Casi particolari

Abbiamo detto che, per la FSM di Moore, le uscite sono dipendenti dal registro di stato. Vi possono essere casi particolari in cui le uscite sono prese direttamente dal registro di stato e, quindi, non vi è alcuna logica di uscita; questo è possibile se ci si può permettere di "rivoltare" la parola di stato in modo che alcuni suoi bit consentano di avere i valori di uscita che si desiderano.

La codifica per le uscite, in questo caso, si riduce a una semplice assegnazione di tipo continuo, del tipo:

```
assign {uscita_1,uscita_2} =
{stato[3],stato[0]};
```

### Perfezionamenti

Nell'esempio appena presentato abbiamo tre

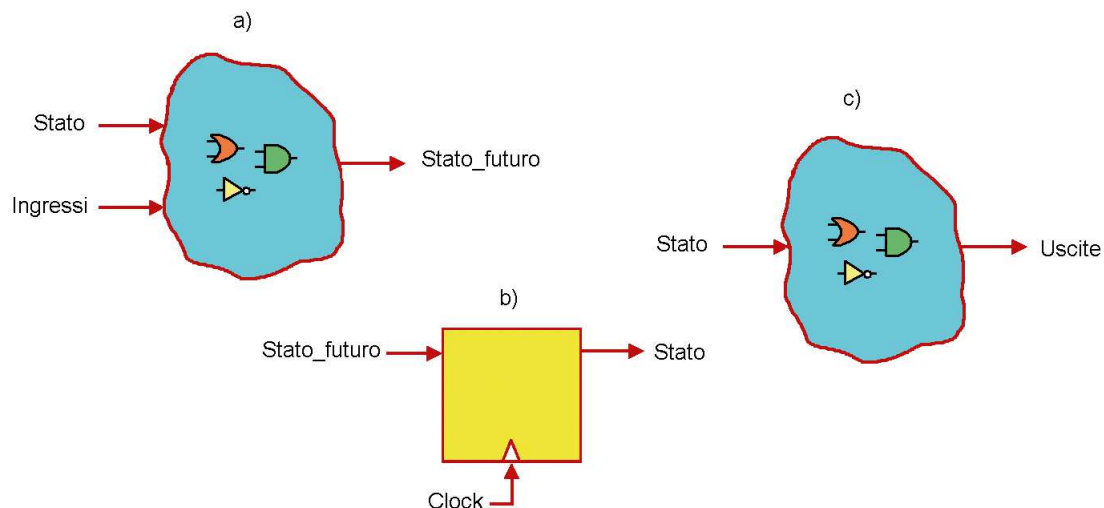


Figura 3 Dettaglio dei blocchi della FSM di Moore

stati, quindi possiamo codificare lo stato con 2 bit. Inoltre, vi sono due valori possibili per gli ingressi (indicati con le costanti in\_1, in\_2) e tre per le uscite (out\_1÷out\_3). Infine, abbiamo supposto di avere un set di 5 ingressi e 3 uscite. Il codice completo vedrà quindi aggiunte le seguenti dichiarazioni:

```
reg [1:0]
    stato, stato_futuro;
```

```
parameter [1:0]
    stato_1 = 2'b00,
    stato_2 = 2'b01,
    stato_3 = 2'b10;
```

```
parameter [4:0]
    in_1 = 5'b00001,
    in_2 = 5'b00010;
```

```
parameter [2:0]
    out_1 = 3'b001,
    out_2 = 3'b010,
    out_3 = 3'b000;
```

### Funzionamento

Questo, in sintesi, il funzionamento della FSM: lo stato futuro viene, per così dire, "preparato" dal blocco a) e si presenta all'ingresso dell'elemento di memoria b).

All'arrivo del fronte di salita del clock, l'ingresso del flip-flop si trasferisce sull'uscita, per cui lo stato corrente viene rimpiazzato con quello già pronto.

Nel blocco c), infine, le uscite si aggiornano (o meno) in base al nuovo stato appena caricato. Nella figura 4 è raffigurato il diagramma degli stati della FSM.

### Alcune considerazioni

Vi sono ancora un paio di considerazioni da fare: come garantire che, all'accensione, la macchina parta da uno stato *iniziale* ben definito e come far sì che non possa andare in stati indesiderati (come ad esempio lo stato a codifica "11", che non è tra quelli previsti).

### Uso del reset asincrono.

La prima questione si risolve aggiungendo una condizione sul reset, che in questo caso è un reset asincrono (attivo basso), per cui il blocco b) diventa:

```
always @(posedge clock or negedge reset)
begin
    if (!reset)
        stato <= stato_1;
    else
        stato <= stato_futuro;
end
```

**Definizione dello stato iniziale.** La seconda questione prevede di inserire la condizione di *default* nel *case* del blocco a), che diventa pertanto:

```
always @(stato or ingressi)
begin
    case (stato)
        stato_1 : if (ingressi==in_1)
```

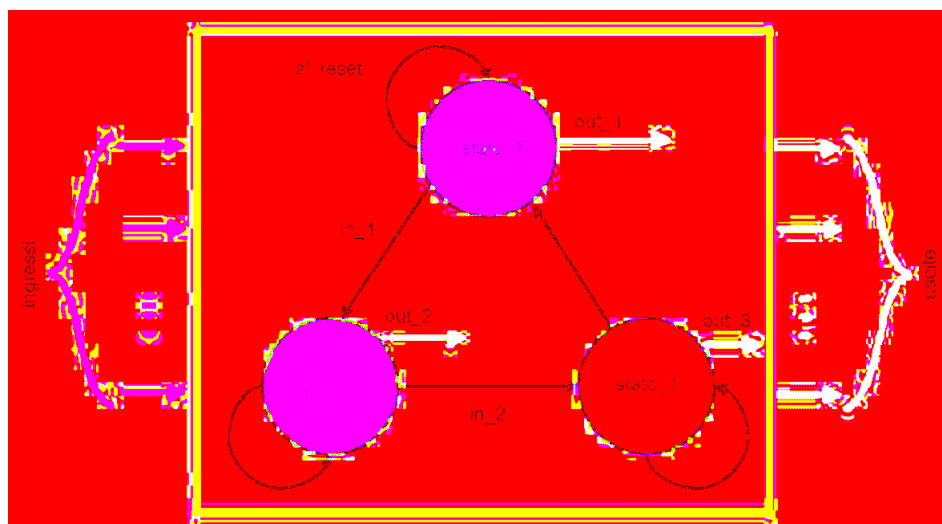


Figura 4 Diagramma a stati per l'esempio di Moore



AREAS

# RADIO MAIORI HI-TECH

4<sup>ta</sup> Fiera Nazionale

del Radiatore elettronico

29-30 Aprile

Maggio



## Pordenone Fiere

[www.fierapordenone.it](http://www.fierapordenone.it)

FRUITCASSA

29-30 Aprile 09:00 - 19:30

30 Maggio 09:00 - 19:00



```

    stato_futuro = stato_2;
    stato_2 : if (ingressi==in_2)
        stato_futuro = stato_3;
    stato_3 :
        stato_futuro = stato_1;
    default : stato_futuro = stato_1;
    endcase
end

// oppure :
always @(stato or ingressi)
begin
    stato_futuro = stato_1;
    case (stato)
        stato_1 : if (ingressi==in_1)
            stato_futuro = stato_2;
        stato_2 : if (ingressi==in_2)
            stato_futuro = stato_3;
        stato_3 :
            stato_futuro = stato_1;
    endcase
end

```

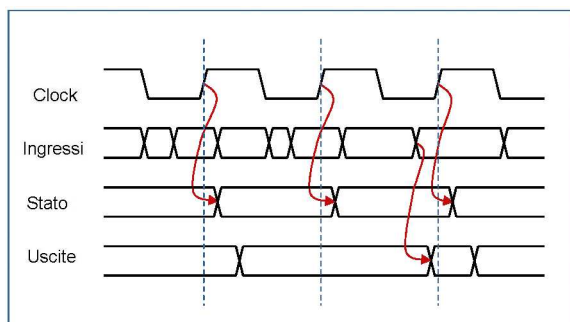


Figura 5 Timing della macchina di Mealy

## Codifiche più sintetiche

La FSM di Moore si può descrivere con due soli blocchi:

```

/* Moore Machine codificata
   con 2 blocchi always */

// Logica per lo stato futuro
// e per il registro di stato
always @( posedge clock or negedge reset )
begin
    if (!reset)
        stato <= stato_1
    else
        case (stato)
            stato_1 : if (ingressi==in_1)
                stato <= stato_2;
            stato_2 : if (ingressi==in_2)
                stato <= stato_3;
            stato_3 :
                stato <= stato_1;
        endcase
end

// Logica per le uscite
// (come caso precedente)
always @(stato)
begin
    case (stato)
        stato_1:
            uscite = out_1;
        stato_2 :
            uscite = out_2;
        stato_3 :
            uscite = out_3;
    endcase
end

```

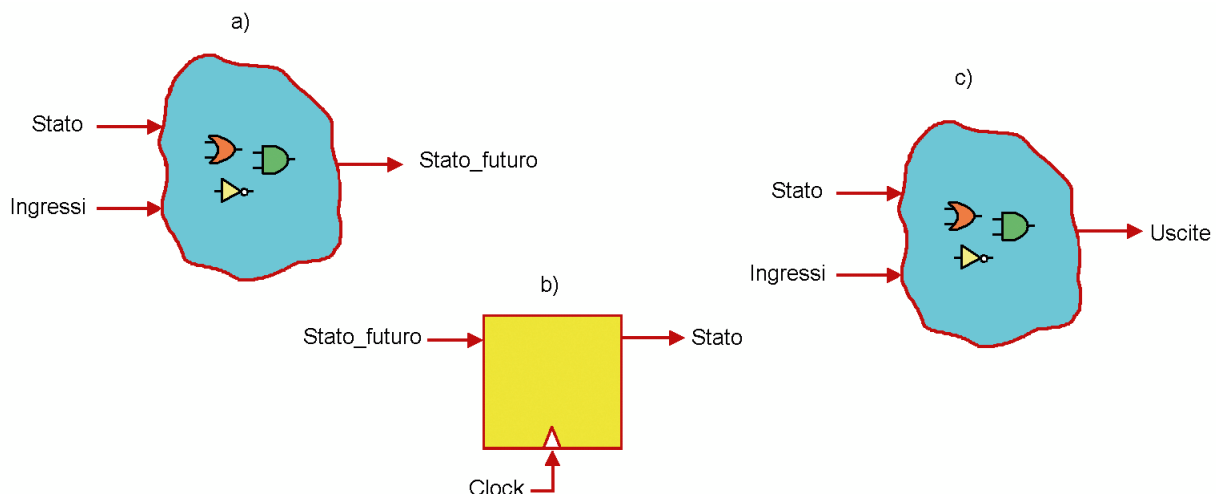


Figura 6 Dettaglio dei blocchi della FSM di Mealy

```

    endcase
end

```

## MODULO 17

### ESEMPIO 2: FSM DI MEALY

#### Temporizzazioni

Secondo lo stile di codifica di Mealy, i cambiamenti di stato intervengono sul fronte del clock e le uscite possono cambiare quando lo stato cambia o quando gli ingressi cambiano (figura 5).

#### Codifica Verilog

Per la codifica Verilog procediamo in maniera analoga al caso precedente. Lo schema a blocchi (figura 6) non è molto diverso da quello di Moore e le codifiche si assomigliano.

Per brevità e chiarezza nell'esposizione, non indichiamo qui le considerazioni sul reset e sullo stato iniziale. Gli esempi completi sono comunque riportati sul sito di Fare Elettronica.

```

/* Mealy Machine codificata con
   3 blocchi always */

// Logica combinatoria per
// lo stato futuro
always @(stato or ingressi)
begin
    case (stato)
        stato_1 : if (ingressi==in_1)
            stato_futuro = stato_2;
        stato_2 : if (ingressi==in_2)
            stato_futuro = stato_3;
        stato_3 :
            stato_futuro = stato_1;
    endcase
end

// Registro di stato
always @(posedge clock)
    stato <= stato_futuro;

// Logica combinatoria per le uscite
always @(stato or ingressi)
begin
    case (stato)
        stato_1 : if (ingressi==in_1)
            uscite = out_1;
        stato_2 : if (ingressi==in_2)
            uscite = out_2;
    endcase
end

```

```

    stato_3 :
        uscite = out_3;
    endcase
end

```

#### Altre codifiche

```

/* FSM di Mealy codificata con
   2 blocchi always */

// Logica per lo stato futuro e
// registro di stato

always @(posedge clock)
    case (stato)
        stato_1:
            if (ingressi==in_1)
                stato <= stato_2;
            else
                stato <= stato_3;
        endcase

// Logica combinatoria di uscita
always @(ingressi or stato)
begin
    case (stato)
        stato_1 : if (ingressi==in_1)
            uscite = out_1;
        stato_2 : if (ingressi==in_2)
            uscite = out_2;
        stato_3 :
            uscite = out_3;
        endcase
    end
end

```

### ESEMPIO 3: FSM CON USCITE REGISTRATE

Per entrambi i tipi di macchine a stati è possibile effettuare il *pipeline* delle uscite, come riportato nella figura 8. Con questo accorgimento il codice diventa:

```

/* Moore Machine con pipeline,
   codificata con 2 blocchi always */

// Gestione dello stato_futuro e
// del registro di stato
always @(posedge clock or negedge reset)
begin
    if (!reset)
        stato <= stato_1;
    else

```



```

case (stato)
  stato_1 : if (ingressi==in_1)
    stato <= stato_2;
  stato_2 : if (ingressi==in_2)
    stato <= stato_3;
  stato_3 :
    stato <= stato_1;
endcase
end

// Uscite registrate
always @(posedge clock)
begin
  case (stato)
    stato_1:
      uscite = out_1;
    stato_2 :
      uscite = out_2;
    stato_3 :
      uscite = out_3;
  endcase
end

```

```

/* FSM di Moore con pipeline, codificata
   in un singolo blocco always */

always @(posedge clock or negedge reset)
begin
  if (!reset)
    stato <= stato_1;
  else case (stato)
    stato_1: begin
      uscite <= out_1;
      if (ingressi == in_1)
        stato <= stato_2;
      else
        stato <= stato_1;
    end
    stato_2: begin
      uscite <= out_2;
      if (ingressi == in_2)
        stato <= stato_3;
      else
        stato <= stato_2;
    end
    stato_3: begin
      uscite <= out_3;
      stato <= stato_1;
    end
  endcase
end

```

Così facendo, le uscite cambiano un colpo di clock dopo che lo stato è cambiato (figura 9). Ci accorgiamo che non serve più definire lo stato futuro.

O meglio, possiamo dire che lo stato futuro esiste ancora, ma è implicito, non è accessibile dall'esterno. La descrizione risulta più compatta. La codifica con un singolo blocco always è la seguente:

Riguardo la FSM di Mealy, con l'accorgimento del pipeline la codifica diventa la seguente. Le uscite cambiano quando lo stato cambia oppu-

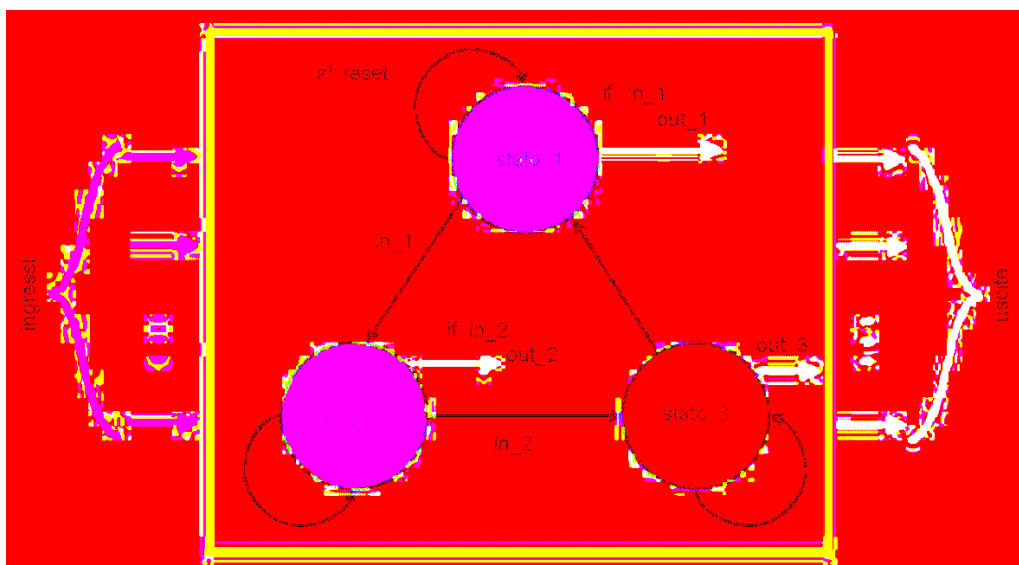


Figura 7 Diagramma a stati per l'esempio di Mealy

# Conoscere ed usare

**INWARE**  
EDIZIONI

**“Conoscere ed usare”** è la nuova collana di libri edita da Inware Edizioni, dedicati a chi intende utilizzare dispositivi e componenti elettronici di nuova concezione, per conoscerli ed usarli nel modo più semplice e veloce possibile mediante numerosi esempi pratici.



## Display LCD

Una guida all'utilizzo dei moduli alfanumerici basati sul controller HD44780, moduli grafici con controller KS0108 e non solo. Il testo tratta anche i display LED a sette segmenti e i display LCD passivi. Numerosi gli esempi pratici di impiego dei vari dispositivi: dal contatore a 7 segmenti al termometro LCD fino al pilotaggio dei moduli alfanumerici mediante PICmicro e PC.

**COD. FE-06**

**€ 16,50**



## PICmicro™

Per conoscere a fondo i PICmicro seguendo un percorso estremamente pratico e stimolante. Vengono analizzate la struttura interna, le porte di I/O, le tecniche di uso del Watchdog Timer, la gestione della EEPROM interna e molti altri argomenti attraverso montaggi pratici e semplici da realizzare. Il testo descrive l'uso di MPLAB®, l'ambiente di sviluppo Microchip per la gestione dei progetti basati su PICmicro e descrive, in maniera approfondita, tutte le istruzioni assembler e molte delle direttive del compilatore. Al testo è allegato un utilissimo CDROM che, oltre ai sorgenti e gli schemi dei progetti presentati nel testo, contiene moltissimi programmi di utilità e molta documentazione.

**COD. FE-18**

**€ 29,00 (contiene CD-ROM)**

**Acquista direttamente sul sito**  
**[www.farelettronica.com](http://www.farelettronica.com)**  
**o telefona al numero**  
**02.66504755**

re sul fronte di salita del clock dopo che l'ingresso è cambiato.

```
/* FSM di Mealy con pipeline, codificata
   in un singolo blocco always */

always @(posedge clock or negedge reset)
  if (!reset)
    stato <= stato_1;
  else case (stato)
    stato_1:
      if (ingressi == in_1)
        begin
          uscite <= out_1;
          stato <= stato_2;
        end
      else
        begin
          stato <= stato_1;
        end
      . . .
    endcase
```

Le temporizzazioni sono come da figura 10. Così facendo, abbiamo la garanzia che le uscite cambiano in sincronismo con il clock.

## MODULO 18 CODIFICA DEGLI STATI

La modalità con cui agli stati vengono asse-

gnati dei valori binari viene detta *codifica degli stati (state encoding)*.

La nostra codifica per gli stati potrebbe richiedere più del numero minimo necessario di flip-flop.

Per evitare il fenomeno delle "*corse critiche*", una buona regola consiste nel modificare un solo bit alla volta nel passare da uno stato al successivo.

Esistono diversi formati per la codifica degli stati; tra i più utilizzati vi sono i seguenti:

- Binario
- Gray
- Johnson
- One-hot

La tabella 1 esemplifica il confronto tra le diverse codifiche per il caso di otto stati.

### Binario

Si applica, ad esempio, quando si impiegano dei contatori per scandire gli stati.

L'inconveniente è rappresentato dal passaggio dall'ultimo stato al primo, perchè variano tutti i bit contemporaneamente ed è possibile il verificarsi di *corse critiche*.

### Gray

È caratterizzato dal fatto che solo un bit di stato cambia alla volta. Minimizza i glitches nei passaggi di stato.

### Johnson

Da uno stato all'altro cambia un solo bit alla volta e si mantengono i bit restanti contigui. Richiede più bit del caso precedente.

### One Hot

In questa codifica un solo bit per stato è posto a "1". È l'opzione più veloce, perchè la logica combinatoria è ridotta al minimo, ma necessita di un maggior numero di bit.

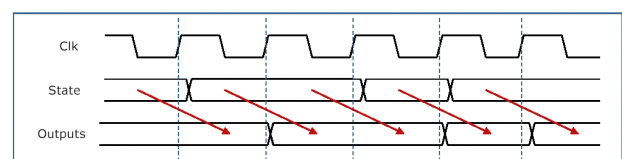


Figura 9 Timing della FSM di Moore con uscite registrate

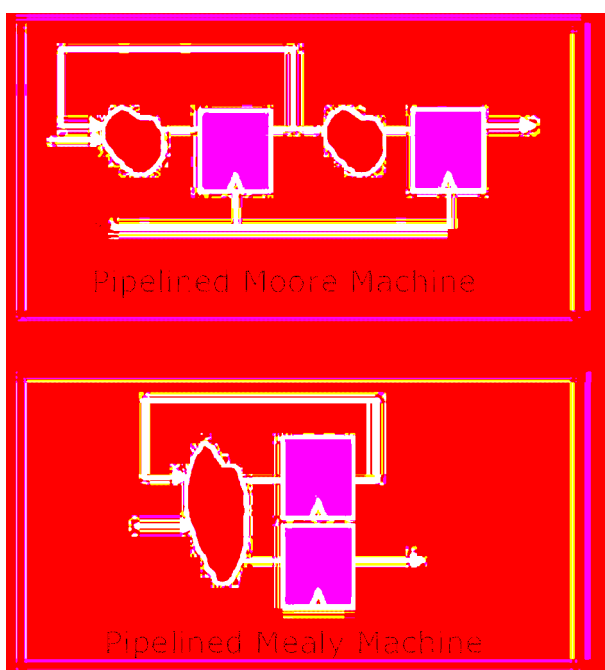


Figura 8 FSM con uscite registrate



Ad esempio, le CPLD, a differenza delle FPGA, hanno un minor numero di flip-flop disponibili. Mentre la codifica di tipo one-hot è talvolta preferita per la sua semplicità, una macchina a stati piuttosto ampia avrà bisogno di un gran numero di flip-flop (N stati richiedono N flip-flop); per cui, quando si implementano FSM su CPLD, per conservare le risorse è raccomandabile impiegare la codifica di tipo binario. Nel fare ciò, si riesce a rappresentare il maggior numero di stati con il minor numero di flip-flop.

Nella prossima puntata presenteremo un circuito dotato di interfaccia seriale e tastierina, insieme alla codifica Verilog di una semplice UART. Gli esempi completi, che sono stati citati nel testo, sono scaricabili dal sito di Fare Elettronica.

State	Binary	Gray	Johnson	One Hot
0	3 'b000	3 'b000	4 'b0000	8'b00000001
1	3 'b001	3 'b001	4 'b0001	8'b00000010
2	3 'b010	3 'b011	4 'b0011	8'b00000100
3	3 'b011	3 'b010	4 'b0111	8'b00001000
4	3 'b100	3 'b110	4 'b1111	8'b00010000
5	3 'b101	3 'b111	4 'b1110	8'b00100000
6	3 'b110	3 'b101	4 'b1100	8'b01000000
7	3 'b111	3 'b100	4 'b1000	8'b10000000

# circuits stamp out in 24 ore






















Codice MIP 249081

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26

**www.mdsrl.it**  
millennium

**millennium dataware** sri  
patra, indonesia  
pemerintah indonesia  
tel: 021 2311 2311  
www.millenniumdataware.com

Il tuo reddito netto è di € 20.000,00. Il tuo reddito netto è di € 20.000,00.

Prima parte  
n° 248 - Febbraio 2006  
Architettura e Livelli ISO/OSI

Seconda parte  
n° 249 - Marzo 2006  
Standard, soluzioni tecnologiche e  
sicurezza nelle reti wireless 802.11x

Terza parte  
n° 250 - Aprile 2006  
Panoramica sull'evoluzione della  
sicurezza nelle reti wireless: dal  
WEP al WPA, al 802.11i (WPA2)

# Le Wireless Lan 802.11x

**D**opo aver visto i vantaggi, i principi di funzionamento e i livelli attraverso cui sono standardizzate le reti wireless, completiamo la trattazione con una panoramica sugli standard 802.11x, evoluzioni dell'802.11 nato nel lontano 1997.

Ci occupiamo dei problemi della cifratura e della sicurezza dei dati che viaggiano nell'ambito delle reti senza fili. Infine anticipiamo qualcosa sul futuro di questa tecnologia, che troverà sicura e definitiva affermazione grazie ad accorgimenti riguardanti la sicurezza. Concludiamo con le soluzioni tecnologiche più diffuse per la realizzazione di interfacce wireless compatibili con gli standard presentati.

## GLI STANDARD 802.11X

Il primo standard 802.11 nasce nel 1997. Le reti wireless descritte in tale documento risultano essere caratterizzate da velocità tra 1 e 2 Mbps, con collegamenti a radiofrequenze a spettro distribuito o a infrarossi.

La caratteristica degli 802.11x successivi, come quelli oggi in uso 802.11b, 802.11a e 802.11g, è sicuramente il miglioramento delle prestazioni, ma anche il continuo richiamo al primo stan-



Figura 1 Access Point Netgear basato su 802.11b

dard del 1997, in quanto i documenti più recenti non contengono una descrizione completa degli standard.

Vediamo quindi come si sono susseguiti partendo dalle soluzioni già in uso, fino a quelle di prossimo utilizzo:

## Prestazioni

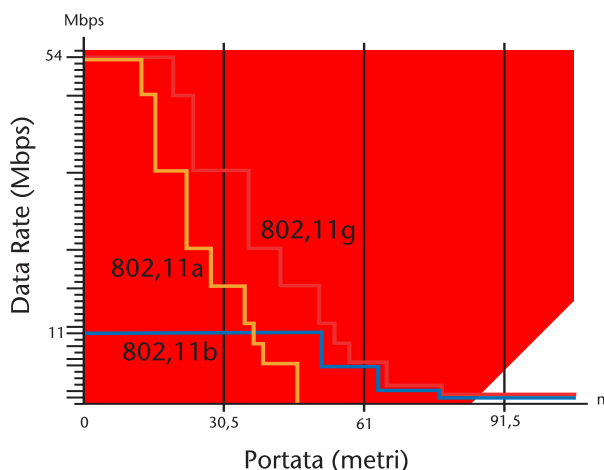


Figura 2 Data-rate al crescere della distanza nei diversi standard

- **L'802.11b** è il primo standard di livello "commerciale", caratterizzato da 11 Mbps, storicamente ha rappresentato larga parte del successo del Wi-Fi.

Lo standard è stato completato nel 1999, e già nel 2001 si offrivano sul mercato prodotti a costo abbordabile.

# Standard, soluzioni tecnologiche e sicurezza nelle reti wireless 802.11x



di Enrico Raffone



**Figura 3** Famiglia prodotti basati su tecnologia 802.11b

L'802.11b è ancora utilizzato in molte situazioni e per molte applicazioni, è per esempio adeguato all'accesso a Internet, con un vantaggio sui costi che, per l'accavallarsi delle scoperte tecnologiche, risultano ulteriormente ribassati. 802.11b funziona in banda ISM (Industrial, Scientific and Medical) a 2,4 GHz e si basa su uno strato fisico caratterizzato dalla modulazione DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Ricordiamo che tale metodo di trasmissione Spread Spectrum distribuisce l'informazione su più frequenze; questa ridondanza riduce la vulnerabilità al rumore. La modulazione di tipo CCK (Complementary Code Keying) sfrutta sofisticate regole matematiche e statistiche per ottimizzare la differenza tra il segnale e il rumore.

IEEE ha previsto, per l'utilizzo nell'ambito di 802.11b e 802.11g, 14 canali con frequenze centrali distanziate di 5 MHz a partire da 2412 MHz. I canali, che è possibile utilizzare, variano da paese a paese; in Europa sono ammessi i canali 1-13, salvo limitazioni nazionali (come in Francia). I canali wireless, identificati da una frequenza centrale,

sono caratterizzati da una sovrapposizione tra i canali vicini, visto che ogni canale occupa 22 MHz di banda (i bit sono trasmessi su più frequenze), e la separazione tra le frequenze centrali è di 5 MHz.

Quindi per realizzare nello stesso ambito geografico più reti wireless si possono usare solo tre canali contemporaneamente, così da evitare interferenze.

Negli USA i canali ammessi sono quelli da 1 a 11, e di solito si utilizzano tre canali, nello specifico 1, 6 e 11, in tal modo è possibile avere tre reti wireless operanti nella stessa area. In caso di interferenza o attenuazione, il data rate teorico di trasmissione scende progressivamente a 5.5, 2 e 1 Mbps.

Una cosa interessante da sottolineare è che il data rate indicato nell'ambito della trattazione e dagli standard attuali è teorico, perché è misurato allo strato fisico dei protocolli, anziché agli strati superiori, che hanno vincoli più restrittivi per esempio nel limitare la lunghezza dei frame.

Si sta ponendo rimedio a tale problematica, migliorando il rendimento nelle versioni successive. Se si attivano le funzioni di sicurezza la banda effettiva si riduce della metà e diminuisce ulteriormente.



**Figura 4** Scheda di rete wireless 802.11b



83

Teoria

- L'**802.11a**, in origine non ammesso in Europa, è stato completato nel 1999 e ha avuto successo in USA grazie ai suoi 54 Mbps (teorici). La banda che caratterizza tale standard è la banda *U-NII* (Unlicensed National Information Infrastructure) a 5 GHz, basata su uno strato fisico con modulazione *OFDM* (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). L'802.11a non è interoperabile con 802.11b e 802.11g se non tramite dispositivi multibanda.
- L'**802.11g**, il più recente tra gli standard "senza fili", completato nel 2002, supporta 54 Mbps a 2,4 GHz ed è interoperabile con l'802.11b.

La modulazione è la *OFDM* come in 802.11a; in più supporta la *CCK* per compatibilità 802.11b e la *PBCC* (Packet Binary Convolutional Coding) come opzione per ulteriori forme di compatibilità.

Le caratteristiche di propagazione dei 2,4 GHz in presenza di ostacoli sono favorevoli a confronto dell'802.11a, anche se tale banda di frequenze potrebbe essere soggetta a maggiori interferenze (ma in Europa anche i 5 GHz possono dar luogo a interferenze).

In caso di peggioramento del rapporto del segnale, la velocità massima scende progressivamente da 54 a 48, 36, 24, 18, 12, 9 e 6 Mbps per la modulazione *OFDM* e da 11 a 5,5, 2 e 1 Mbps per la modulazione *CCK*, usata in caso di interoperabilità con l'802.11b.

Oltre agli standard approvati 802.11b, 802.11a e 802.11g che sono alla base dei prodotti Wi-Fi in commercio, altri sono in corso di sviluppo da

parte dei relativi task group dell'IEEE:

- L'**802.11e** dovrebbe garantire funzionalità di *QoS* (Quality of Service), cosa che renderà possibile il funzionamento di applicazioni multimediali su una WLAN. Tutto ciò in relazione alle applicazioni audio, in particolare per finalità di comunicazioni telefoniche *VoIP* (voce su IP, quindi su Internet) su reti wireless (*VoWLAN*).
- L'**802.11f** si interessa del roaming per gli standard 802.11a/g/h per migliorare le prestazioni in una rete di dispositivi di produttori diversi. Serve per definire un *Inter-Access Point Protocol* (IAPP) che assicuri l'interoperabilità tra Access Point a tecnologie diverse.
- L'**802.11h** serve per rendere possibile l'uso in Europa delle WLAN a 5 GHz e prevede funzioni di *TPC* (controllo della potenza di trasmissione) e *DFS* (selezione dinamica della frequenza) in modo da evitare probabili interferenze con le trasmissioni satellitari.
- L'**802.11i** migliora la sicurezza e risolve i problemi nativi in questo ambito delle reti senza fili (su questo punto approfondiremo ampiamente nei paragrafi successivi). Anticipiamo solo che la sicurezza nelle reti wireless era inizialmente affidata al *WEP* (Wired Equivalent Privacy), visti i problemi di sicurezza che caratterizzano tale tecnologia di codifica dei dati, la Wi-Fi Alliance si è data da fare e ha introdotto l'efficace *WPA* (Wireless Protected Access), supportato dai recenti update di Windows XP.

Lo standard 802.11i, validato nel luglio 2004 dall'Institute of Electrical Electronic Engineers (IEEE), mira a rinforzare la sicurezza delle norme correnti 802.11b e 802.11g, aggiungendovi una stringa supplementare di codifica. Questa stringa è basata sull'*AES* (Advanced Encryption Standard) usato, in particolare, dall'amministrazione americana. Dotato delle chiavi di crittografia a 128, 192 e 256 bit, l'*AES* mira a rimpiazzare il *DES* (Data Encryption Standard), limitato a chiavi da soli 56 bit. L'802.11i dovrebbe anche unificare i requisiti di sicurezza privati, comparsi per ovviare alle falle del *WEP* (Wired Equivalent Privacy), su cui si basano gli standard 802.11b e 802.11g.

A seguito di questi problemi, la Wi-Fi Alliance

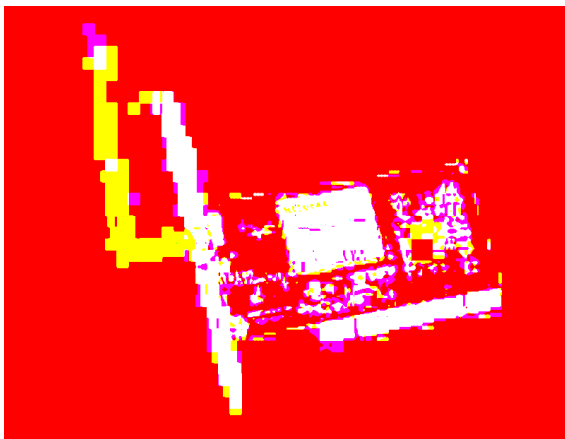


Figura 5 Scheda di rete wireless 802.11g

# ELETTRONICA EXPO DAY

Il più grande mercato di elettronica  
d'Italia. Con oltre 1000 espositori  
e più di 100.000 visitatori.



## TRIESTE

**FIERA di TRIESTE**  
**Piazzale De Gasperi**  
**8-9 APRILE 2006**  
**dalle ore 9 alle ore 18.30**

**ELETTRONICA - HARDWARE - TELEFONIA**  
**COMPONENTISTICA - SURPLUS - MATERIALE DI CONSUMO**  
**RADIANTISMO - ACCESSORI - RICEZIONE SATELLITARE**

**QUEST'È IL PIÙ GRANDE MERCATO DI ELETTRONICA  
E DI COMPONENTI ELETTRICI D'ITALIA**

**Organizzazione**  
**EXPOFIERE / EXPOEVENTI**

**www.expoevento.com**

**www.expoevento.com**

**www.expoevento.com**

**Sul sito [www.expoevento.com](http://www.expoevento.com) sono disponibili gli indirizzi degli espositori a prezzo ridotto!**



aveva implementato il WPA (Wi-Fi Protected Access) in quasi tutte le schede di rete wireless, ma questo protocollo non è stato standardizzato dall'IEEE e, ormai, non sarà più necessario. Allo stesso modo non sarà più necessario il ricorso al VPN (Virtual Private Network), altra soluzione sviluppata per rendere sicuro un collegamento senza fili. Si tratta di uno standard complementare con le bande di rete previste dalle norme 802.11b e g. Per quanto riguarda le larghezze di banda teoriche, tutto resta invariato: raggiungeranno sempre gli 11 Mbps nel caso dell'802.11b, per arrivare fino a 54 Mbps con l'802.11g.

Il software di aggiornamento, per rendere compatibili i prodotti in commercio con il nuovo standard, è disponibile dagli ultimi mesi del 2004. Tuttavia, la maggior parte delle apparecchiature Wi-Fi recenti (rilasciate negli ultimi sei mesi circa), sono già compatibili con la nuova norma. Lo stesso vale per la piattaforma Centrino di Intel. La nota casa americana ha infatti annunciato che un semplice aggiornamento dei driver renderà i processori Centrino in grado di supportare lo standard 802.11i.

- L'**802.1x**, standard proveniente dalle reti fisse, prevede l'uso del protocollo di autenticazione *EAP* (Extensible Authentication Protocol) e di un server di autenticazione *RADIUS* (Remote Authentication Dial-In User Service).
- L'**802.11n**, infine, è la vera novità delle LAN wireless. Il relativo gruppo di lavoro IEEE è stato costituito nel 2003, il che significa che vedremo lo standard approvato nel 2005 o nel 2006. I progressi previsti sono entusiasmanti, perché l'obiettivo minimo è la trasmissione ad almeno 100 Mbps effettivi: non teorici misurati allo strato fisico ma misurati a livello MAC, come abbiamo anticipato sopra.

Questo modo di misurare le prestazioni di una WLAN è una novità nelle procedure dell'IEEE, ma si è resa necessaria perché la velocità effettiva è notevolmente influenzata dai vari carichi di lavoro aggiuntivo che rallentano i protocolli 802.11. Questi riguardano la struttura dei pacchetti, il dialogo di scambio delle comunicazioni prima e dopo l'invio dei dati veri e propri, la contesa tra i

nodi che vogliono comunicare contemporaneamente e altri fattori che pesano sempre di più man mano che cresce la velocità.

Considerando i 20-24 Mbps di rendimento reale di una connessione 802.11a/g, il futuro 802.11n promette un incremento minimo di velocità di 4-5 volte. L'802.11n funzionerà probabilmente nella banda dei 5 GHz e si basa su un'evoluzione del sottostrato MAC, non dello strato fisico come è avvenuto per gli standard precedenti.

## I FUORI STANDARD

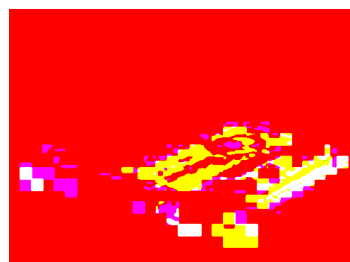
Alcuni produttori hanno lavorato su soluzioni tecnologiche non standard per le trasmissioni WLAN, offrendo prestazioni doppie e quadruple con funzionalità compatibili verso il basso con gli standard dell'IEEE e non approvate dalla Wi-Fi Alliance. Sono nate quindi le estensioni **802.11b+** (nome non ufficiale estraneo all'IEEE) a 22 Mbps (con possibilità di ulteriore upgrade via firmware) e le derivazioni a 100 e 108 Mbps dell'802.11g.

Le soluzioni per realizzare queste accelerazioni sono: la modifica del tipo di modulazione del segnale, l'incremento della lunghezza dei frame e l'uso di più canali di trasmissione.

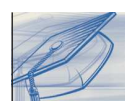
Queste estensioni a 100 Mbps e oltre funzionano solo tra access point e interfacce wireless di produttori specifici ma in generale non tra produttori diversi, in più in qualche caso possono interferire negativamente con altre WLAN della stessa area.

## LA SICUREZZA DELLA RETE

La protezione per i privati e le piccole aziende è basata su due tecniche principali, in attesa della larga diffusione del neo-standard 802.11i, vara-



**Figura 6** Scheda wireless DLink DWL-520+ basata su standard 802.11b+



to a luglio 2004: **WEP** (Wired Equivalent Privacy) e **WPA** (Wireless protected access). Il WEP nasce con l'idea di fornire la stessa sicurezza offerta su filo, in pratica agisce cercando di proteggere l'accesso da normali utenti, ma strutturalmente non da un hacker agguerrito. **WPA** è la soluzione temporanea proposta dalla WiFi Alliance per far fronte alle profonde falle del WEP in attesa dell'802.11i, tale tecnica garantisce un alto livello di protezione. Per le aziende, sono disponibili le misure aggiuntive di protezione 802.1X (che prevede diversi tipi di autenticazione dell'utente).

Anticipiamo qualche particolare relativo alla sicurezza dell'802.11i, che include la crittografia avanzata AES (Advanced Encryption Standard), il supporto Quality of Service e la preautenticazione di una stazione presso più AP per accelerare il roaming in una rete wireless di grandi dimensioni, nell'ambito di un distribution system.

### Debolezza del WEP

L'idea alla base del WEP è la crittografia del frame e di un campo di verifica dell'integrità ICV, *Integrity Check Value*, operata tramite una chiave composita, formata da un valore pseudocasuale di 24 bit, detta IV Initialization Vector e da 40 o più bit (104 e a volte 232) della chiave definita dall'utente.

L'utente in generale può definire in una maschera di configurazione della propria interfaccia wireless fino a quattro chiavi WEP. L'IV, di solito, parte all'inizializzazione da un valore fisso e viene incrementato a ogni pacchetto spedito; nelle migliori implementazioni è un valore pseudocasuale. I problemi che affliggono questo meccanismo non sono pochi: le chiavi dell'utente sono fisse; l'algoritmo RC4 di crittografia ha dimostrato di essere utilizzato quantomeno in modo "improprio"; ma, soprattutto, il valore IV, introdotto per modificare le chiavi, si è rivelato prevedibile nel giro di poche ore. I valori a 24 bit dell'IV, infatti, si ripetono dopo qualche ora in una rete ad alto traffico, inviando in rete pacchetti codificati con la stessa chiave complessiva di 64 (o 128/256) bit.

Ciò significa che, data la prevedibilità del contenuto di molti pacchetti (intestazioni di e-mail, e così via), un hacker che analizza il traffico, por-

tando quindi un attacco passivo, può creare un database di pacchetti decifrabili, fino a ricostruire le chiavi e di conseguenza l'intero traffico. Per di più, alcuni valori di IV (detti *weak IV*, cioè IV deboli) funzionano male nell'algoritmo di crittografia RC4; in questi casi, opportune funzioni matematiche rivelano facilmente parte della chiave WEP.

Definiti i problemi principali di WEP andiamo in dettaglio a capire come funziona a partire dall'autenticazione.

### Autenticazione con il WEP

Una rete Wi-Fi può operare in due modi distinti: a infrastruttura (Basic Service Set, BSS) oppure ad-hoc (Independent BSS mode). Nella rete con AP, la comunicazione tra i client all'interno delle BSS deve passare per la stazione centrale (chiamata access point, AP). Mentre la seconda modalità non dà adito a particolari procedure di protezione, ogni entità risulta essere in contemporanea client e server, realizzando una rete peer to peer.

Ogni nodo partecipante in questa rete, agisce sia come host che come router e deve quindi essere capace di reinstradare i pacchetti che gli giungono che sono diretti ad altri nodi.

Arriviamo quindi al primo tra i meccanismi che bisogna garantire nell'ambito della sicurezza, il meccanismo di autenticazione utilizzato in una BSS. Attualmente, i client wireless devono stabilire un'associazione con gli AP prima che qualunque dato sia scambiato.

L'associazione è realizzata mediante i "beacon management frames". Un ID, chiamato SSID, identifica una rete controllata da un AP, ed ogni AP può gestire uno o più SSID.

Lo standard 802.11 definisce due tipologie di autenticazione:

- *Open System Authentication* (OSA) è un sistema zero-authentication, non richiede l'implementazione di nessuna primitiva crittografica.
- *Shared key Authentication* (SKA) che richiede si implementi il WEP.

L'*Open System Authentication* è l'opzione di default e è quella più usata. In essa un qualunque client wireless può entrare a far parte di una BSS stabilendo un'associazione con uno degli AP che la gestisce. È usualmente imple-

mentata in ambienti in cui la semplicità di utilizzo è l'obiettivo principale, e l'amministratore di rete non vuole imporre agli utenti la sicurezza delle comunicazioni.

La *Shared Key Authentication* è uno schema di autenticazione challenge/response, che usa una chiave segreta condivisa da tutte le stazioni (molto spesso la stessa con cui si crittografano i dati). La grave carenza di tale metodologia è che non è stato definito un meccanismo specifico per la distribuzione delle chiavi e per la loro gestione.

Il processo di autenticazione avviene nel seguente modo:

- La stazione che richiede l'autenticazione invia un frame di richiesta di autenticazione all'access point (Authentication Request).
- Quando l'AP riceve tale frame, genera un frame di autenticazione contenente 128 byte casuali generati tramite il WEP standard (Challenge Text).
- La stazione, ricevuto il frame di autenticazione, lo cifra con la chiave condivisa e lo invia di nuovo all'AP (Challenge Response).
- L'AP decifra il frame ricevuto usando la stessa chiave condivisa usata dalla stazione per cifrare e confronta il valore ottenuto con il testo casuale precedentemente inviato. Se vi è corrispondenza tra i due valori, sarà inviato alla

stazione un messaggio di authentication successfully, in caso contrario sarà inviato un messaggio di authentication denied.

L'obiettivo del WEP era di portare il livello di sicurezza delle WLAN il più vicino possibile a quello delle reti con fili, cercando quindi di perseguire la confidenzialità dei dati evitando lo sniffing. Un attaccante può con troppa semplicità ascoltare il traffico, e un tale attacco passivo è difficile da riconoscere. La chiave condivisa (in realtà lo standard definisce l'uso di 4 chiavi, ma ai fini della sicurezza non cambia nulla) è memorizzata in ogni *Management Information Base station* (MIB) ed è disponibile solo al *coordinatore del Medium Access Control* (questi aspetti di network management verranno chiariti nel corso del prossimo articolo).

### Funzionamento del Wired Equivalent Privacy (WEP)

Poiché i dispositivi wireless sono dispositivi che si basano su un canale condiviso (nello specifico l'etere) qualunque cosa sia trasmessa su una tale rete può essere intercettata con una semplicità di gran lunga superiore a quella delle trasmissioni su filo.

Il WEP lavora su una **secret key che viene condivisa tra le varie stazioni** e l'access point. La chiave segreta è usata per cifrare i pacchetti, prima di trasmetterli, più un controllo di integrità, usato per assicurare che i pacchetti non abbiano subito modifiche durante la trasmissione.

Uno dei problemi dello standard è che non si definisce nessuna regola per la generazione della chiave condivisa, e quello che succede in pratica, è che molte installazioni usano una singola chiave che viene condivisa tra tutte le stazioni mobili e gli access point (AP), rendendo il tutto molto più critico.

Il WEP impiega l'algoritmo di cifratura delle chiavi denominato *Ron's Code 4 Pseudo Random Number Generator* (RC4 PRNG). La stessa chiave è usata sia per cifrare che per decifrare i dati. L'algoritmo di cifratura RC4 è uno stream cipher, che lavora estendendo una piccola chiave in un stream di chiavi pseudo-casuali. La cifratura consiste nell'eseguire una operazione di XOR (detta anche funzione di disparità) tra lo stream

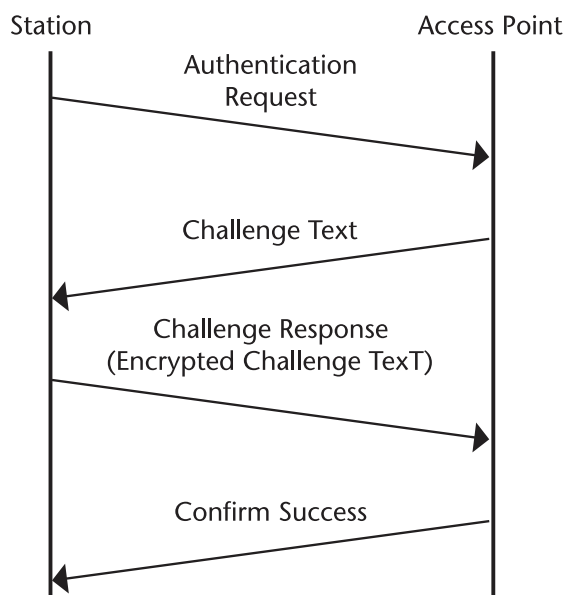
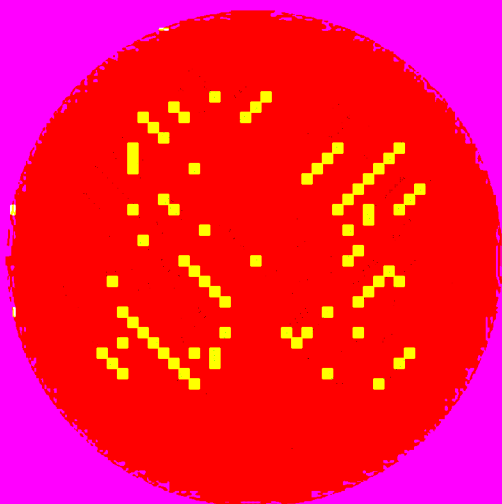


Figura 7 Autenticazione WEP



Il presente contratto di locazione ha  
ad oggetto la locazione di un  
appartamento sito in Via  
Mazzini, 10, 1° piano, 00144 Roma, RM.

Compreso l'uso  
della cucina  
e del bagno  
e del riscaldamento  
centralizzato.

Per la presente si dichiara  
che l'immobile è stato  
visitato e approvato.



Per la presente si dichiara  
che l'immobile è stato  
visitato e approvato.  
Il presente contratto di locazione  
ha ad oggetto la locazione di un  
appartamento sito in Via  
Mazzini, 10, 1° piano, 00144 Roma, RM.

di chiavi ed il testo in chiaro per produrre il testo cifrato. Diversi benefici derivano dall'uso dell'RC4: lo stream di chiavi è indipendente dal testo in chiaro; la cifratura e la decifratura sono veloci, circa 10 volte più veloci del DES (Data Encryption Standard); l'RC4 è semplicemente implementabile anche da un programmatore di medio livello; è dimostrabile che l'RC4 è immune all'analisi differenziale e lineare. Il WEP esegue due processi sul testo in chiaro, uno lo cifra mentre l'altro lo protegge da modifiche non autorizzate. Se uno sniffer intercetta due testi cifrati, codificati usando lo stesso stream di chiavi, è possibile ottenere lo XOR dei due testi in chiaro, poichè la chiave scompare nell'operazione di XOR tra i due testi cifrati. Dalla conoscenza di questo XOR si può arrivare con attacchi statistici a recuperare i testi in chiaro. Gli attacchi statistici hanno maggiore successo al crescere dei testi cifrati, che usano lo stesso stream di chiavi. Quando un testo in chiaro diviene conosciuto, è banale recuperare tutti gli altri

codificati con la stessa chiave, e si nota che questo è già un possibile attacco.

Ma il WEP è sicuramente un protocollo che non consegue tutti i propri obiettivi, ma certamente garantisce un minimo indispensabile di copertura. Questo minimo ci è garantito da un *Vettore di Inizializzazione (IV)*, che permette di aumentare la dimensione della chiave segreta condivisa e produrre una chiave RC4 differente per ogni pacchetto che dev'essere inviato. Il vettore IV viene incluso all'interno del frame trasmesso rendendo possibile la decodifica a destinazione del messaggio.

Così la chiave segreta (40 bit) è concatenata ad un vettore di inizializzazione (24 bit) producendo una chiave della dimensione totale di 64 bit. Per garantire che un pacchetto non sia stato modificato durante la trasmissione si computa un valore di *Controllo di Integrità (ICV)*, che viene inviato all'interno del pacchetto cifrato. Il controllo di integrità è implementato tramite un checksum CRC-32. In questo modo la chiave di pacchetto è usata sia per proteggere il valore di controllo di integrità, che i dati. Quindi, il numero di byte cifrati è dato dal numero di byte di dati che devono essere trasmessi, più 4 byte del CRC.

La fase di cifratura di un messaggio può quindi riassumersi (figura 9):

- Si calcola il valore dell'ICV sul testo in chiaro.
- Il valore dell'ICV viene concatenato al testo in chiaro.

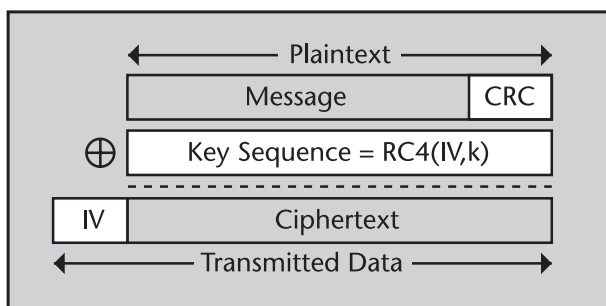


Figura 8 Cifratura del Frame

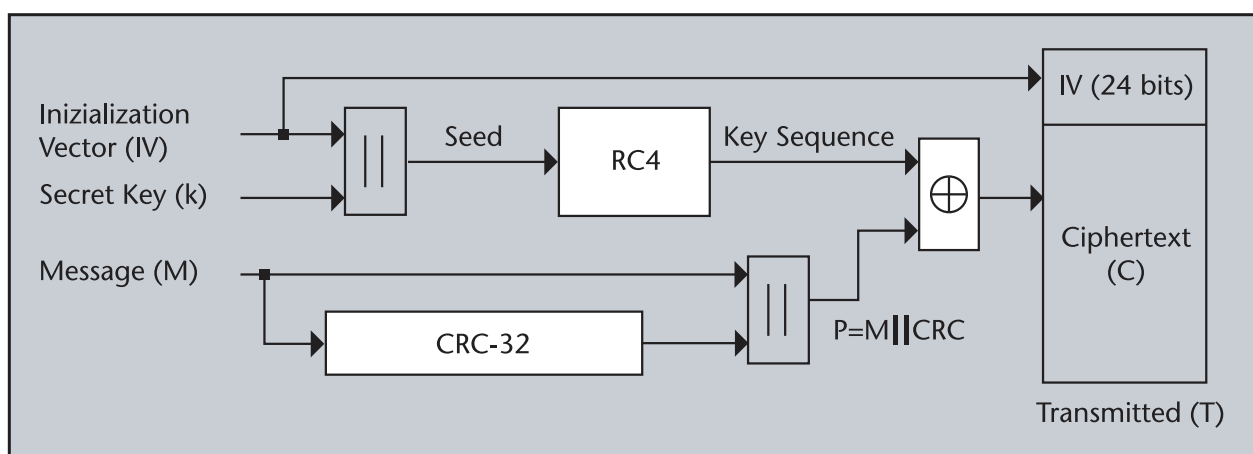


Figura 9 Sequenza di crittaggio



- Viene scelto un vettore di inizializzazione casuale (IV) e lo si concatena alla chiave segreta.
- La chiave segreta viene concatenata al vettore IV, e tale chiave di sessione viene data in input all'algoritmo RC4 per produrre una sequenza di chiavi pseudocasuale.
- Il testo in chiaro + CRC viene cifrato tramite uno XOR bit a bit con la sequenza di chiavi pseudocasuali prodotte dall'RC4.
- Il vettore IV viene comunicato al destinatario del messaggio ponendolo in testa al testo cifrato.

### Integrity Check Value (ICV)

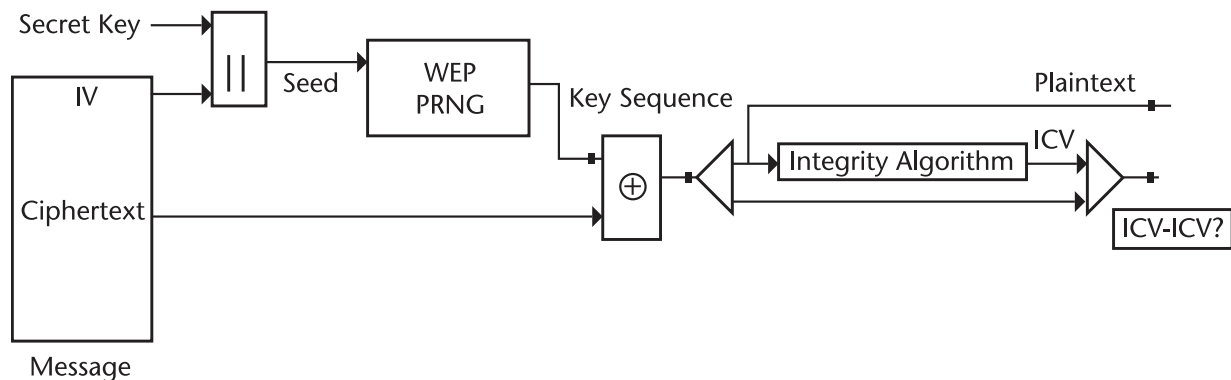


Figura 10 Verifica dell'integrità del frame ricevuto



## Con Artek hai l'elettronica a portata di un click.

Esplora il nostro sito, ogni mese scoprirai le novità dell'Elettronica, il mondo dei Microcontrollori, nuovi sensori e strumenti per progetti di Robotica. Inoltre strumenti di misura digitali professionali interfacciati al pc per il laboratorio



Artek ti offre un modulo per programmare i PIC Microchip con funzioni di debug e test a soli 62 Euro IVA compresa. Visita il nostro sito per sapere di più sul C-Project C-170.

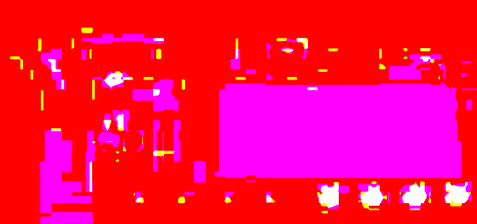


**Costruisci un Robot con il BASIC Stamp**  
il microcontrollore più famoso e diffuso fra gli appassionati di Robotica per la sua semplicità d'uso e la vasta gamma di accessori



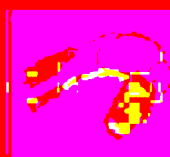
### Strumenti digitali di misura su porta USB

- due canali
- 12 bit di risoluzione
- ingresso fino a 100 MHz



### BoeNut 01

stazione di lavoro completa per Nutchip



Puoi avere questa mini-telecamera a colori, completa di ricevitore e microfono ad un prezzo che non ha uguali!

La nostra vetrina è on-line all'indirizzo [www.artek.it](http://www.artek.it); puoi controllare le caratteristiche, i prezzi e ordinare da subito ciò che ti occorre. Puoi contattarci con una e-mail a [info@artek.it](mailto:info@artek.it) inviando un fax allo 0542 688405 oppure chiamando i nostri uffici allo 0542 643192 dalle 9 alle 13:30 e dalle 14:30 alle 18 dal Lunedì al Venerdì

Codice MIP 249091

Il vettore IV, il testo in chiaro ed il CRC formano i dati da inviare nel frame di dati. Il ricevente ha una copia della stessa chiave segreta e in decifratura il vettore IV, ricavato dal messaggio ricevuto, viene utilizzato per generare uno stream di chiavi identico a quello generato dall'inviante.

L'operazione di decifratura risulta essere il duale dell'operazione fatta precedentemente con l'aggiunta della verifica circa la correttezza della decifratura (integrità dei dati), che viene portata avanti attraverso l'esecuzione dell'algoritmo di controllo dell'integrità (nello specifico il CRC-32) sul testo in chiaro recuperato e confrontando l'ICV di output con l'ICV trasmesso all'interno del messaggio. Se i due valori non sono identici, il messaggio ricevuto è scartato ed un errore è inviato alla stazione inviante.

Come già accennato nell'ambito dell'autenticazione, la chiave segreta usata per cifrare/decifrare i frame di dati è anche usata per l'autenticazione delle stazioni mobili. Palesemente, è un rischio di sicurezza che le chiavi di cifratura e di autenticazione siano la stessa, recentemente infatti, si vanno diffondendo metodologie negli AP e nelle stazioni mobili, che utilizzano il WEP e la relativa chiave segreta solo per la cifratura/decifratura dei messaggi e non per l'autenticazione. Bisogna sottolineare che la perdita di un singolo bit di un data stream cifrato con RC4 causa la perdita di tutti i dati che seguono l'ultimo bit correttamente ricevuto.

Questo deriva dal fatto che la perdita di tale bit desincronizza il sistema di cifratura e decifratura dell'RC4. I problemi di risincronizzazione peggiorano all'aumentare del numero di bit persi. Tali problemi, invece, non si verificano con l'utilizzo di un cifrario a blocchi tipo AES. Il WEP è implementato tenendo in considerazione l'alta possibilità di perdita della sincronia, per effetto della perdita di un singolo bit o per attacchi fraudolenti da utenti che vogliono la ritrasmissione con un stessa chiave, e risolve il problema reinizializzando la chiave di cifratura per ogni frame trasmesso.

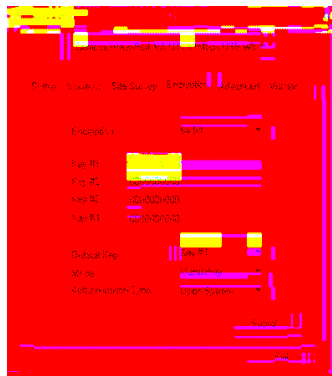


Figura 11 Finestra di configurazione di un dispositivo di connessione wireless USB

## Problemi del WEP

L'incapsulamento WEP fallisce nel perseguire un'adeguata protezione, in quanto l'algoritmo di cifratura usato è l'RC4. Il WEP sarebbe migliorabile migrando dall'RC4 a 40 bit a quello a 128 bit, anche se non si riuscirebbe comunque a raggiungere quegli obiettivi di protezione che ci si proponeva in fase di progetto.

L'insufficienza del WEP è dovuta al tentativo di adattare l'RC4 ad un problema che non ha la possi-

bilità di risolvere, almeno a queste condizioni. Vari studi hanno chiarito, che sostituire l'RC4 con differenti primitive crittografiche avrebbe giovato di gran lunga agli attuali ed ai futuri obiettivi di sicurezza.

Questo perché le deficienze sono relative a come il WEP usa la crittografia, non alla dimensione della chiave. Andiamo quindi a sottolineare alcuni problemi sostanziali riscontrabili in relazione ai meccanismi di cifratura espliciti nel paragrafo precedente.

Gli stream cipher come l'RC4 hanno una proprietà che è particolarmente importante ai fini dell'analisi: essi non usano la stessa chiave due volte. Supponiamo che il cifrario produca una key stream di bit  $k_1, k_2, k_3, \dots$  (blocco RC4 figura 9). Il sistema di cifratura usa la sequenza di key stream per cifrare lo stream di testi in chiaro  $p_1, p_2, p_3, \dots$  in uno stream di testi cifrati  $c_1, c_2, c_3, \dots$  attraverso lo XOR di ogni bit del testo in chiaro con il corrispondente bit della key stream:

$$c_i = p_i \oplus k_i \quad \text{per } i=1,2,3,\dots (1)$$

Molte implementazioni pratiche attualmente fanno lo XOR di byte o di parole invece che di bit, per necessarie esigenze di ottimizzazione. Colui che deve decifrare recupera lo stream di testi in chiaro dal testo cifrato attraverso lo XOR di ogni testo cifrato con il corrispondente bit della key stream

$$p_i = c_i \oplus k_i \quad \text{per } i=1,2,3,\dots (2)$$

Lo stream cifrato è di pubblica conoscenza e si presume che un utente malizioso possa memorizzare l'intero stream di testi cifrati senza limita-

zioni di sorta alcuna. Se un utente malizioso scopre il valore del testo in chiaro del bit  $i$ -esimo, esso può risalire al corrispondente valore del testo in chiaro associato al bit  $i$ -esimo di un qualunque altro stream di testo, a patto che sia stato cifrato con la stessa key stream. L'attaccante può prima computare il bit della key stream

$$k_i = c_i \oplus p_i \quad \text{per } i=1,2,3,\dots(3)$$

Ed usando l'equazione (2) può decifrare il corrispondente bit di qualunque stream cifrato con la stessa key. Il WEP tenta di evitare questo problema introducendo il vettore di inizializzazione IV, utilizzato per produrre una nuova chiave di cifratura per ogni frame che dev'essere trasmesso. Ma da questo passiamo ad un altro problema. Il WEP concatena IV alla chiave segreta condivisa per formare una famiglia di  $2^{24}$  chiavi (poiché IV è costituito da 24 bit). Per ogni frame trasmesso viene selezionata una di queste  $2^{24}$  chiavi e con essa vengono cifrati i dati da trasmettere.

Gli stream chiper, come già detto, non riutilizzano la stessa chiave due volte. Tale proprietà obbliga le BSS a cambiare la chiave segreta condivisa quando i suoi membri hanno consumato tutte le  $2^{24}$  possibili chiavi derivate dalla chiave base. Il WEP non chiarisce nessun sistema pratico per realizzare tale variazione, così in pratica le chiavi del WEP non sono variate abbastanza frequentemente da poter mantenere i livelli di privacy richiesti, ossia una volta generate tutte le  $2^{24}$  possibili chiavi di pacchetto si comincia a riutilizzare chiavi già usate.

Il problema, comunque, è ben più grave di quanto possa apparire a questa semplicistica analisi. Poiché il WEP condivide la stessa chiave segreta per tutti i membri della BSS, e visto che la sicurezza del WEP dipende dalla coppia <base-key, IV>, esse non possono essere riciclate, e quindi il WEP necessita di un algoritmo di gestione dei IV, al fine di prevenire che un nodo riutilizzi un IV già usato da un altro nodo. Il WEP non definisce neanche un tale algoritmo, e non è chiaro neanche come intenda che un tale algoritmo venga progettato.

La maggior parte delle implementazioni sceglie



Figura 12 Ideogramma Wardriving

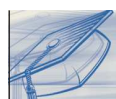
casualmente IV. La selezione casuale, comunque, presenta delle sue difficoltà intrinseche derivabili analiticamente dal paradosso del compleanno. Per capire in cosa consiste questo paradosso e cosa vuole spiegare, diciamo che, dato un insieme di  $n$  elementi, supponiamo di

estrarre un elemento alla volta da tale insieme (con distribuzione uniforme) e di reintrodurre tale elemento nell'insieme prima della prossima estrazione. La probabilità che in due estrazioni successive venga estratto lo stesso elemento (o come si suol dire in gergo, si verifichi una collisione) è  $p_2 = 1/n$  e, generalizzando, per  $k$  estrazioni (con  $k \geq 3$ ) la probabilità che vi sia almeno una collisione (ossia sia stato estratto almeno due volte lo stesso elemento) è  $p_k = p_{k-1} + (k-1) * 1/n * (1 - p_{k-1})$  con  $p_k$  probabilità di avere una collisione dopo  $k$  estrazioni. Questo ci dice che la probabilità di collisione, cioè di estrarre due volte lo stesso valore, nel caso del WEP (con  $n=2^{24}$  combinazioni) è molto alta con tutti i problemi collegati.

### Tipi di Attacchi a WEP

Nelle reti wireless gli attacchi portati da utenti fraudolenti sono provenienti dall'etere, come un utente posizionato all'esterno del perimetro aziendale. Ci possono essere diversi possibili attacchi che è possibile portare legati alle diverse vulnerabilità identificate nel meccanismo del WEP:

- **Attacchi alla chiave di pacchetto:** è possibile trovare la chiave sfruttando la debolezza insita nello scheduling della chiave.
- **Attacchi alla chiave segreta:** la chiave segreta è usata sia per cifrare/decifrare dati che per autenticare la stazione. Di solito c'è solo una chiave condivisa (nonostante il protocollo definisca la possibilità di utilizzarne 4 - vedi figura 11) e al crescere del numero di utenti della WLAN, questa chiave diventa di conoscenza pubblica e quindi completamente inefficace. In più 40 bit rappresentano un modesto numero di bit e quindi sono praticabili attacchi a forza bruta anche per attaccanti con modeste risorse di calcolo.
- **Attacchi alla confidenzialità:** decifrare i dati



senza conoscere la key è possibile in virtù dei meccanismi di riutilizzo delle chiavi descritto il paragrafo precedente.

- **Attacchi all'integrità:** modificare o costruire pacchetti è possibile per la linearità dell'ICV utilizzato.
- **Attacchi di autenticazione:** un attaccante può scoprire sia la challenge che la risposta ascoltando le trasmissioni in rete, e può calcolare la corrispondente key stream (attraverso l'uso di un attacco a dizionario).

Gli evidenti problemi di sicurezza delle reti Wi-Fi hanno assunto una natura tale da far nascere negli Stati Uniti il fenomeno di "**wardriving**". Esso consiste nell'appostarsi nei pressi di un punto di accesso Wi-Fi e condividere in modo fraudolento la rete wireless per navigare ad alta velocità senza alcuna spesa. Se l'accesso avviene a piedi, si parla di warwalking.

Il fenomeno del wardriving, per ora solo negli

Stati Uniti, consiste però in qualcosa di diverso dal (semplice) spionaggio. È divenuto un fenomeno di costume tanto che camminando sotto casa, fuori dall'ufficio possiamo imbatterci in simboli strani (come quelli illustrati nella figura 12): dei veri graffiti che evidenziano la presenza di un area di free internet (illustrati nella seconda figura 13).

## I CHIPSET PIÙ DIFFUSI PER DISPOSITIVI WIRELESS




In questa sezione ci occupiamo di un argomento certamente vastissimo, perciò tengo specificare che si cercherà di indicare per grandi linee quelli che sono i chipset più utilizzati e più innovativi in circolazione in questo periodo, seguendo un approccio per produttori.

Partiamo dall'**ATMEL**, abbiamo l'MA101 montato sui Netgear MA101, tale network processor è supportato dalla maggioranza dei software per reti wireless. Ricordiamo che Atmel sviluppa chipset anche per una tecnologia wireless che rientra in un altro standard definito dall'IEEE, e che sarà la tecnologia wireless del domani. ZigBee è il discendente di un formato wireless attualmente non più supportato, chiamato HomeRF.

La specifica ZigBee è una combinazione di HomeRF Lite e della specifica 802.15.4. Opera a una frequenza radio di 2,4 GHz – la stessa banda dello standard 802.11b, dei telefoni cordless e microonde – su 16 canali. È in grado di connettere 255 dispositivi per rete. La specifica supporta velocità di trasmissione dei dati fino a 250 Kbps su un raggio massimo di 30 metri. La tecnologia di ZigBee è più lenta della specifica 802.11b, che offre 11 megabit al secondo, e di Bluetooth, con il suo 1 Mbps, ma consuma una potenza molto inferiore. Atmel produce anche i famosi AT76C5XXx-based Wireless Devices supportati anche da Linux dal kernel 2.4.

Passiamo alla **Texas Instruments**. Il nuovo chipset prodotto da tale casa è TNetW1250, che può essere configurato per connessioni di tipo 802.11b/g o 802.11a/b/g ed è in grado di lavorare senza interferenze con i chipset Bluetooth. Il più famoso prodotto per applicazioni wireless di Texas Instruments è indubbia-

let's warchalk...!

KEY	SYMBOL
OPEN NODE	ssid  bandwidth
CLOSED NODE	ssid  bandwidth
WEP NODE	ssid      access contact  bandwidth

blackbeltjones.com/warchalking

Figura 13 Graffiti wardriving

mente il ACX100. Tale processore supporta inoltre una particolare modalità non standard, chiamata 4X in grado di far viaggiare i dati a 44Mbit in compressione. Tuttavia, questa particolare modalità, chiamata 802.11b+ (vedi paragrafo Fuori Standard) è una invenzione della Texas Instruments e non è supportata né dal driver open source relativo né dagli altri produttori di chipset per schede wireless: ciò si traduce, in una impossibilità pratica di utilizzo della modalità 4X se non in presenza di un access point che supporti la stessa tecnologia proprietaria. Attualmente TI produce il ACX111 compatibile con il ACX100.

Arriviamo ad **Intel**. Due chipset Intel i915 e i925 da parte di "mamma" Intel, caratterizzati dal fatto che la funzione di gestione del Wi-Fi inte-



**Figura 14** Texas Instruments TNetW1250

grata nel South Bridge (ICH6), risulta essere disabilitata di default per motivi di sicurezza. Da parte di Intel c'è anche il GRANTS DALE, un chipset molto discusso basato sul i925, nato per trasformare il Pc o il notebook in un nodo per reti wireless, in modo da aggiungere alla sua dimensione tradizionale anche quella di access point per le Wlan, controllando l'ingresso di altri dispositivi in un sistema di rete.

In seguito Intel Corporation ha deciso di non abilitare funzionalità di access-point wireless nei propri chipset Intel 915/925X "Grantsdale". La compagnia ha optato per questa soluzione per via della larga disponibilità di access-point a basso costo da terze parti. Intel produce anche i famosi chipset per il Pentium Centrino, i 2100 poi sostituiti dai 2200BG.



**Dotare di connettività wireless i vostri sistemi embedded?**  
**Facile. E con i nostri moduli.**

**easy**



**Bluetooth**

**Wi-Fi**

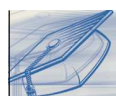
**Nessun driver necessario, comunicazione trasparente**




**Codice MIP 249095**

**EIKON**

**www.eikonsite.it**





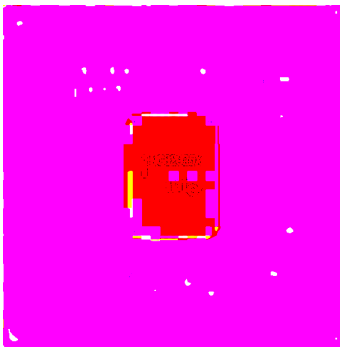


Figura 15 Intel i925



Figura 16 SiS162

Quindi abbiamo **SIS**. Diciamo molto rapidamente che c'è il SiS162 wireless LAN con incorporati i chipset SiS648MX e SiSM661MX, che offre soluzioni complete per le applicazioni su reti wireless. C'è anche **Ralink Technology**, con Ralink Technology's 802.11g WLAN Chipset, certificato Wi-Fi+WPA e WHQL (è una certificazione Microsoft). Dalla stessa casa produttrice, RT2400 e RT2500 2.4GHz WLAN chipset.

Ralink, indubbiamente,

è la più famosa fornitrice per gli access point.

Infine **Conexant**. Famosa azienda di tecnologie proprietarie tra cui video e modem, fornisce i PRISM GT e PRISM WorldRadio USB 2.0 Solutions 802.11g and 802.11 a/g WLAN Solutions con interfaccia USB 2.0 integrata, supportati da BSD, Linux e QNX.

Sempre in questa panoramica abbiamo la ormai strafamosa **Microwave Engineering** che produce tecnologie per il wireless e che ci offre chipset per WiFi, WiMax e UWB. Il loro chipset di punta è il Nexperia.

Tutti i prodotti riportati in questo paragrafo non li troviamo solo sui pc ma principalmente in access point e repeater. Elenchiamo per completezza altre aziende produttrici di chipset dedicati alle comunicazioni wireless:

- DPACK Technologies
- Agere (la prima a fornire chipset da 150Mbit/s)
- Atheros Communications, Inc.
- Envara, Inc. (Ex hLAN)
- Intersil
- RF Micro Devices (Resonext Communications, Inc.)
- Philips Semiconductors

- Spirea AB
- Synad Technologies Ltd.
- IceFyre Semiconductor, Inc.
- Broadcom
- Mobilian
- Multimedia & QoS Innovators
- Embedded Wireless Devices, Inc. (EWD)
- Magis Networks

## BIBLIOGRAFIA

- IEEE 802.11TM WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS - The Working Group for WLAN Standards  
<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>
- Prof. re Alfredo De Santis - *Tecnologie Wireless e standard IEEE 802.11* - a cura di: A.Sala, D.De Maio, P.Ambrosio, R.Aloisio
- Wi-Fi oggi e domani - *PC Open* - Gruppo Agepe
- 802.11i <http://www.cellulari.it/html/def-glos>
- Cos'è il Wardriving - *Caccia alle reti wireless* - Portel.it

Ringrazio per il supporto tutti gli users e gli admins del portale [www.roboitalia.com](http://www.roboitalia.com), ed in particolare **Rinux** per il disponibile aiuto nel lavoro di documentazione per la stesura di questo articolo.

## CONCLUSIONI

Wi-Fi si propone come una soluzione a basso costo, rapidamente installabile, senza specifici requisiti di manutenzione e di facile impiego per sostenere e favorire la crescente richiesta di connettività wireless di diversi tipi di utenza. È in corso un significativo sforzo tecnologico per passare dalle reti aziendali e domestiche alle reti in aree pubbliche. Esistono, tuttavia, ancora alcuni importanti problemi tecnologici da risolvere tra cui: facilità d'uso, sicurezza, qualità di servizio, mobilità, management di rete. Il mercato appare fiducioso su un favorevole sviluppo sia delle necessarie tecnologie che del quadro regolamentare e gli attori potenzialmente coinvolti, dai gestori di rete fissa/mobile, ai proprietari di locazione e, infine, gli stessi utenti finali si stanno già attrezzando per l'impiego delle imminenti reti Wi-Fi pubbliche.

**Codice MIP 249082**

# I CD-ROM di fare elettronico

## Annata 2005

*11 Uscite di fare Elettronica in 1 CD-ROM!*

Un'annata completa in formato ACROBAT (PDF).

Potrai sfogliare comodamente tutte le riviste uscite nel 2005 e stampare gli articoli di tuo interesse.

Il CD-ROM contiene anche software, codice sorgente, circuiti stampati e tutto il materiale necessario per la realizzazione dei progetti proposti.

**Novità**



## Annata 2003 e 2004

*22 Uscite di fare Elettronica in 2 CD-ROM!*

Due annate complete in formato ACROBAT (PDF).

Potrai sfogliare comodamente tutte le riviste uscite nel 2003 e nel 2004 e stampare gli articoli di tuo interesse.

I CD delle annate sono acquistabili separatamente oppure insieme ad un prezzo scontato.

## PIC® Microcontroller By Example

*Il corso completo PIC® Microcontroller By Example in formato ACROBAT (PDF)*

Tutte le lezioni pronte per la consultazione con i sorgenti dei progetti immediatamente utilizzabili nelle tue applicazioni.

Il modo migliore per avere sempre sottomano la soluzione per il tuo progetto con i PICmicro®.

Il CD-ROM PIC® Microcontroller By Example contiene una sezione "Contenuti Speciali" tutta da scoprire.



## Tutto sulle Smartcard

*La raccolta completa degli articoli sulle smartcard in formato ACROBAT (PDF)*

Gli articoli, i progetti e i download relativi agli articoli sulle Smartcard in un unico CD-ROM pronto da consultare ed utilizzare.

Contiene i progetti completi del lettore di smartcard **UniReader** e del **SimCopier** per duplicare il contenuto della rubrica della vostra Sim card.

Ordinali subito su [www.fareelettronica.com](http://www.fareelettronica.com) oppure telefona allo 02.66504755

Inware Edizioni - Via Cadorna, 27/31 - 20032 Cormano (MI)

# Battipiste per

**Q**uando si tratta di andare alla ricerca di cortocircuiti o interruzioni di piste in circuiti stampati ad alta densità di componenti, come spesso accade con le schede digitali, di solito ci si affida a un buon tester dotato del classico "cicalino", che si attiva quando la resistenza elettrica tra due punti è praticamente nulla. Realizzando il circuito descritto in questo articolo otterrete uno strumento che risolve il problema in modo semplice ed efficace.

Il dispositivo descritto in figura 1 realizza questa funzione, permettendo di verificare la continuità tra punti di un circuito elettronico

qualora la resistenza rilevata sia inferiore ad una soglia prefissata di pochi Ohm. Il vantaggio di uno strumento di questo genere consiste nel fatto che è solo la resistenza delle piste di rame ad essere rilevata mentre i componenti eventualmente montati sulla scheda vengono ignorati. La soglia di intervento può essere regolata a piacere agendo sul trimmer RV1. Inoltre, lo strumento si può impiegare anche per testare la "salute" di condensatori elettrolitici o al tantalio. In questo caso occorre posizionare i puntali ai capi del condensatore in esame, dapprima in un verso e poi nel verso opposto. Così facendo il battipiste emette un brevissimo "beep", dovuto al fatto che il condensatore, da scarico, offre un'impedenza molto piccola per un breve istante. Invertendo il verso dei puntali, il fenomeno transitorio si verifica con polarità opposta. Se il componente è guasto, tipicamente in corto circuito, si avvertirà un tono continuo.

Un altro contesto di utilizzo di questo apparecchietto è nella verifica delle connessioni di un cablaggio filare a più conduttori. In queste

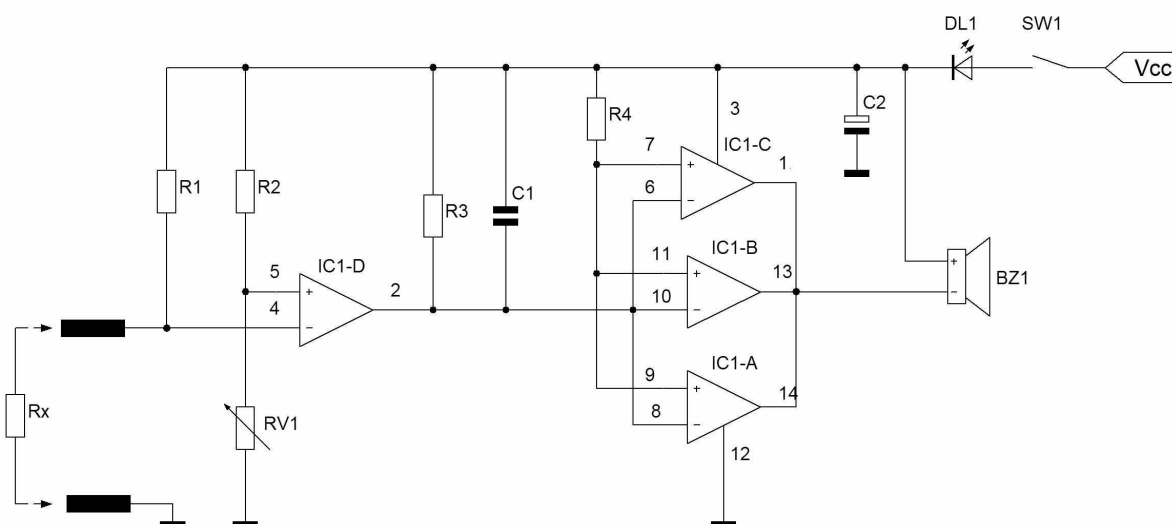


Figura 1 Schema elettrico

# circuiti stampati

di Agostino Rolando



situazioni, infatti, spesso si impiegano cavi multipolari di un medesimo colore e risulta difficile distinguere un filo dall'altro.

Vi sono altre situazioni in cui lo strumento risulta utile. Ad esempio, una volta realizzato un impianto elettrico domestico e stesi tutti i cavi nelle guaine, prima di mettere sotto tensione l'impianto è necessario verificare che non vi siano cortocircuiti o dispersioni verso terra. Inoltre, sono da verificare i collegamenti a partire dall'interruttore principale verso le prese di alimentazione.

Per fare questo basta collegare il battipiste ai cavi di linea in ingresso dal lato del contatore e, di volta in volta, inserire nelle varie prese un bypass a zero Ohm realizzato con una spina volante cortocircuitata.

## DESCRIZIONE DEL CIRCUITO

Lo schema in figura 1 utilizza un comparatore bipolare quadruplo LM339 (IC1), il cui schema a blocchi è riportato in figura 4, in grado di funzionare a singola alimentazione. Una batteria da 9V viene utilizzata per alimentare il circuito; può durare anche parecchi mesi, se ci si ricorda di lasciare spento il dispositivo quando non utilizzato.

In serie all'alimentazione è inserito il diodo led DL1, che consente di monitorare qualitativamente lo stato di carica della batteria senza offrire un'eccessiva caduta di tensione. Il primo dei quattro comparatori a disposizione è impiegato come rivelatore differenziale nel circuito "a ponte" di ingresso di cui Rx, la resistenza incognita da misurare, costituisce uno dei rami. All'equilibrio, vale l'uguaglianza  $R1 * RV1 = R2 * Rx$ .

Il comparatore è in grado di discriminare un offset molto piccolo, sono sufficienti 2 mV per farlo commutare.

Il trimmer RV1 va tarato in modo da squilibra-

re leggermente il ponte, nel senso che collegando una resistenza di valore superiore a 5 Ohm, oppure in assenza di Rx, l'uscita del comparatore dev'essere a livello basso.

Quando viene collegata la resistenza incognita (il cui valore dev'essere inferiore a 5 Ohm), l'uscita di IC1-D deve commutare a livello alto; di conseguenza, i successivi stadi comparatori (che agiscono da buffer di corrente) cambiano stato, da alto a basso, e il cicalino si mette a suonare. Essendo l'integrato di tipo open-collector, le uscite degli stadi A,B,C si possono collegare insieme; questo permette di incrementare la corrente di pilotaggio del buzzer.

Il montaggio non prevede grosse difficoltà, basta seguire le tipiche raccomandazioni di

## Elenco componenti

R1	Resistenza 22 KΩ 1/4 W
R2	Resistenza 22 MΩ 1/4 W
R3, R4	Resistenza 10 KΩ 1/4 W
RV1	Trimmer resistivo 47 KΩ multigiri verticale
C1	0.1 μF 50 V ceramico
C2	4,7 μF 25 V elettrolitico
DL1	Diodo led
IC1	LM339
BZ1	Buzzer
SW1	Microswitch a slitta da stampato a 90 gradi
N.4	Perline a saldare
N.1	Coppia di puntali per tester
N.1	Contenitore plastico 90mm x 55 mm
N.1	Portapila per batteria da 9V

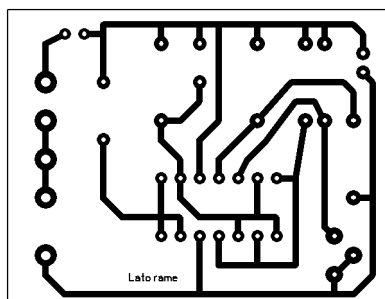


Figura 2 Circuito stampato in scala 1:1 (lato rame)

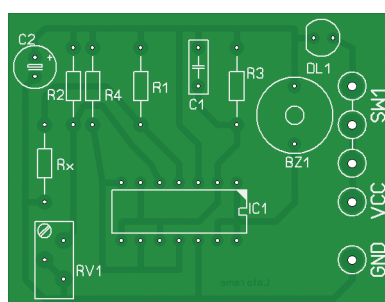


Figura 3 Piano di montaggio

SCHEMATIC DIAGRAM (1/4 LM339)

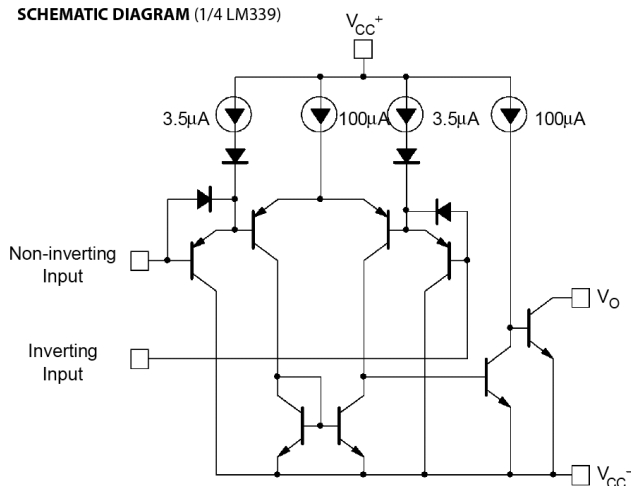


Figura 4 Schema elettrico del LM339

base per ottenere un ottimo risultato: cominciate con il montare i componenti più bassi per poi continuare con quelli più alti, usate stagno di buona qualità ed un saldatore di piccola potenza (30/40 W sono sufficienti), non surriscaldare i componenti (in particolar modo l'integrato) in quanto si potrebbero danneggiare.

## TARATURA

Per la taratura si può procedere nel seguente modo: ci si procurano due resistenze da 10 Ohm e, in un primo momento, se ne collega una sola ai puntali del battipiste.

A questo punto si regola il trimmer RV1 al minimo valore tale da non far suonare il buzzer. Fatto ciò, si collega la seconda resistenza in parallelo alla prima, in modo da ottenere un valore complessivo di 5 Ohm; ora il cicalino dovrà attivarsi.

Tra i vantaggi di questo circuito vi è quello di offrire un'impedenza di ingresso particolarmente elevata (qualche decina di MegaOhm), tale da non influenzare il circuito sotto esame. Inoltre, il consumo è piuttosto contenuto: circa 3 mA a riposo e 10 mA con il buzzer in funzione.

L'oggetto può trovare posto in un comodo scatolino di plastica di dimensioni standard (90x55 mm) e si può fissare con alcune gocce di colla a caldo agli angoli (figura 5).

In figura 2 viene mostrato il circuito stampato in grandezza naturale e in figura 3 la serigrafia per la disposizione dei componenti.

## CONCLUSIONI

Abbiamo presentato un circuito molto semplice da realizzare ma di indubbia utilità, spero che vi torni utile. Alla prossima.

Codice MIP 249098



Figura 5 Il battipiste nel suo contenitore



**P  
E  
S  
C  
A  
R  
A**

**SILVI MARINA (TE) - FIERA ADRIATICA  
S.S.16 (Nazionale Adriatica) - Km. 432**



# **3<sup>a</sup> FIERA MERCATO DELL'ELETTRONICA**

**PROTEZIONE  
CIVILE**



**RADIOAMATORE  
COMPUTER  
INTERNET  
TELEFONIA  
ANTENNE  
TV SAT  
EDITORIA**

## **22 - 23 APRILE 2006**

**SABATO 9:15 - 19:00 / DOMENICA 9:00 - 19:00**

**AMPIO PARCHEGGIO e SERVIZIO NAVETTA GRATUITI**

**RISTORANTE - SELF SERVICE INTERNO**

con il patrocinio di

Provincia  
di Pescara



Comune  
di Silvi



Sezioni ARI di  
Chieti e Pescara



Segreteria Organizzativa Via Siena, 22 - 65122 PESCARA  
Tel. 085 4215840 - Fax 085 4227184  
e-mail: [pescrafierem@libero.it](mailto:pescrafierem@libero.it)

Codice MIP 249101

**2<sup>a</sup> Primavera  
2006**

Undicesima parte

n° 248 - Febbraio 2006

Operazioni matematiche con  
gli operazionali (parte I)

Dodicesima parte

n° 249 - Marzo 2006

Operazioni matematiche con  
gli operazionali (parte II)

Tredicesima parte

n° 250 - Aprile 2006

L'operazionale  
comparatore (parte I)

# L'amplificatore operazionale dalla A alla Z

**G**li amplificatori operazionali devono la loro denominazione alla capacità di eseguire molteplici operazioni. Qui se ne descrivono alcune fra le più significative.

## 12.1 CIRCUITO INTEGRATORE

Svolge in modo attivo la funzione del circuito R-C. La figura 12.1 espone il circuito elementare dell'integratore, così definito poiché il segnale di uscita  $V_o$  è proporzionale all'integrale del segnale  $V_i$  di ingresso. Si può, infatti, dimostrare che:

$$V_o = -\frac{1}{R_i C_f} \int V_i dt + K \quad [12.1]$$

La configurazione base presenta alcuni inconvenienti che non ne consentono una pratica utilizzazione. Infatti anche con  $V_i = 0$ , a causa della tensione di offset di ingresso, il condensatore  $C_f$  continua a caricarsi portando in uscita una tensione  $V_o$  diversa da zero. Fra l'altro, l'operazionale nella configurazione di cui alla figura 12.1, alle basse frequenze, essendo la reattanza del condensatore molto elevata, si comporta come amplificatore invertente ad anello aperto e ciò conduce l'uscita a valori di tensione eguali alla tensione di saturazione. Ciò significa che il segnale di uscita non è più proporzionale all'integrale del segnale di ingresso.

Per ovviare a ciò si potrebbe fare ricorso ai circuiti illustrati nella figura 12.2 a e b. All'inizio di un processo di integrazione – figura 12.2 a – il deviatore  $S_1$ , inizialmente chiuso, viene

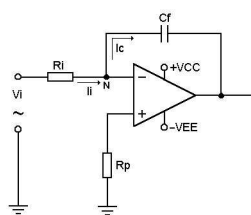


Figura 12.1 Circuito integratore di base

aperto mentre viene chiuso il deviatore  $S_2$  (condizione di set). In questa condizione il circuito si comporta da integratore. Al termine del ciclo, la chiusura di  $S_1$  e l'apertura di  $S_2$  (reset) consente la scarica di  $C_f$  attraverso la resistenza  $R_{sc}$ .

Analogo, nella figura 12.2 b, il funzionamento del Fet che qui si comporta come interruttore off-on, (consentendo in on la scarica del condensatore) tramite il segnale inviato sul gate.

È comunque più efficace il circuito della figura 12.3 dove la resistenza  $R_2$  di elevato valore, è in parallelo alla capacità  $C_f$ . La  $R_2$  fa sì che alle basse frequenze, essendo  $X_{Cf}$  molto grande, l'op-amp si comporti da amplificatore invertente con guadagno  $(R_2/R_i)$ , mentre a frequenze sufficientemente elevate il circuito diviene simile all'integratore di base dal momento che il condensatore diviene un cortocircuito per la  $R_2$ .

Per ricavare la funzione di trasferimento è sufficiente eguagliare la corrente  $I_i$  alla corrente  $I_f$  che fluisce nel parallelo  $R_2 // X_{Cf}$ . Si ottiene:

$$\frac{V_i}{R_i} = \frac{V_o}{R_2} \cdot (1 + j\omega C_f R_2)$$

da cui, infine, si ha:

$$A_{cl} \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_i} \cdot \frac{1}{1 + j\omega C_f R_2} \quad [12.2]$$

il cui modulo è:

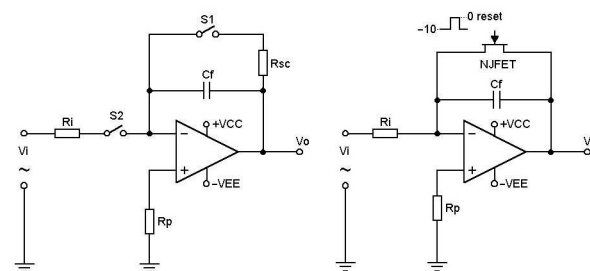
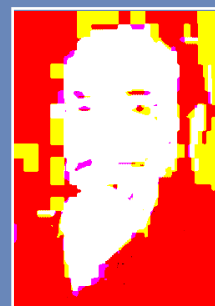
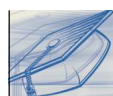


Figura 12.2 Circuiti integratori - in a con deviatori di set e reset (in pratica deviatori Cmos) e in b con Fet come interruttore comandato da un segnale asservito al segnale da integrare

# Operazioni matematiche con gli operazionali (parte II)



di Nico Grilloni



103

Teoria

FARE ELETTRONICA - MARZO 2006

$$|A_{cl}| = \frac{R_2}{R_i} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega C_f R_2)^2}} \quad [12.3]$$

e la cui fase è:

$$\varphi = 180^\circ - \arctg \omega C_f R_2 \quad [12.4]$$

Per  $\omega = 0$ , ossia in continua (o per  $\omega$  sufficientemente bassa), la reattanza capacitiva tende all'infinito (o a valori elevati) e pertanto l'operazionale si comporta come amplificatore non invertente il cui guadagno è  $R_2/R_i$ . Per  $\omega = 0$ , dalla [12.3] si ricava infatti,  $|A_{cl}| = R_2/R_i$ .

Sempre dalla [12.3], per  $\omega = 1/(C_f R_2)$ , ossia per  $f_i = 1/(2 \pi C_f R_2)$  si ha:

$$|A_{cl}| = \frac{R_2}{R_i} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot \frac{R_2}{R_i}$$

Pertanto, per  $\omega = 1/(C_f R_2)$  il guadagno è 0,707 volte il guadagno massimo ( $R_2/R_i$ ). Poiché

0,707 corrisponde a un'attenuazione di 3 dB, il valore  $[0,707 \cdot (R_2/R_i)]$  indica il guadagno alla frequenza di taglio  $f_i = 1/(2 \pi C_f R_2)$ , ossia il guadagno di 3 dB inferiore al valore massimo. Alla frequenza

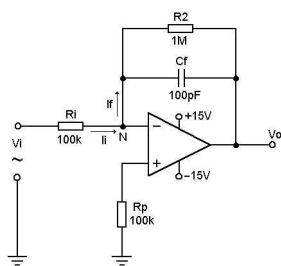


Figura 12.3 Integratore reale con op-amp

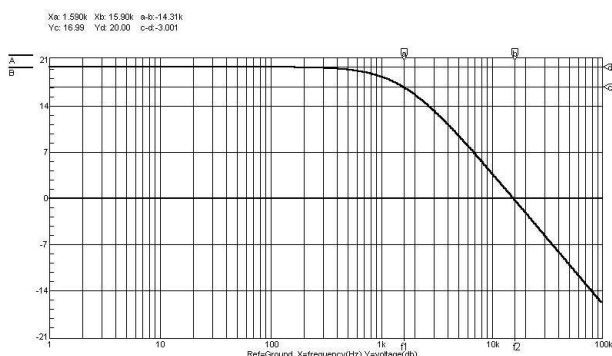


Figura 12.4 Curva di risposta in frequenza dell'integratore di cui alla figura 12.3. Il circuito si comporta da integratore fra la frequenza  $f_1$  e la frequenza  $f_2$

$f_i$  lo sfasamento è di  $135^\circ$  (segnale di uscita in anticipo rispetto al segnale di ingresso) come si può ricavare dalla [12.5] ricordando che  $\arctg 1 = 45^\circ$ .

Per  $\omega = 1/(C_f R_i)$ , ossia per  $f_2 = 1/(2 \pi C_f R_i)$ , il guadagno assume valore unitario (0 dB) come si può ricavare dalla [12.3] trascurando l'unità rispetto a  $(R_2/R_i)^2$ , mentre per  $\omega = 0$  la fase dipende dal guadagno, ossia dal valore del rapporto  $(R_2/R_i)$ .

Tutto ciò è evidente nel diagramma della figura 12.4 – curva di risposta in frequenza – e nel diagramma della figura 12.5 – curva della fase. Entrambi i diagrammi fanno riferimento al circuito integratore di cui alla figura 12.3.

In particolare, nel diagramma della figura 12.4 si nota che il guadagno è massimo, e pari a 20 dB (essendo  $R_2/R_i = 10$ ), per  $f = 0$ . Si noti l'ordinata  $Y_d = 20$  dB che indica la distanza fra il livello 0 dB del segnale di ingresso e il tratto ad andamento orizzontale della curva di risposta.

Per  $f = f_i = 1/(2 \pi C_f R_2)$ , il guadagno ha un'attenuazione di 3 dB indicata in diagramma dalla distanza  $(c - d)$  fra gli omonimi marker orizzontali. A -3 dB, con i valori dei componenti passivi di cui alla figura 12.3, per la frequenza di taglio si ha:

$$f_i = 1/(2 \times \pi \times 100 \times 10^{-12} \times 10^6) = 1591,5 \text{ Hz}$$

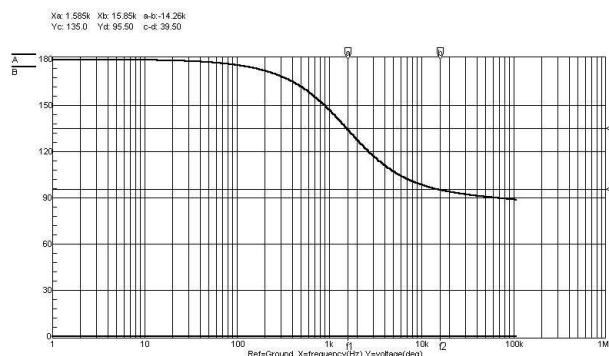


Figura 12.5 Curva di fase del circuito integratore di cui alla figura 12.3

Questa frequenza è indicata dal marker verticale  $a$ . Il marker verticale  $b$  indica invece la frequenza alla quale il guadagno è unitario (0 dB), ossia la frequenza  $f_2 = 1/(2 \pi C_f R_i)$ .

Con i valori dei componenti passivi di cui alla figura 12.3, si ha infatti:

$$f_2 = 1/(2 \times \pi \times 100 \times 10^{-12} \times 10^5) = 15,91 \text{ kHz}$$

Il tratto discendente della curva lungo il quale il circuito si comporta da integratore ha pendenza di 20 dB per decade.

Venendo al diagramma di fase – figura 12.5 – si vede che alla frequenza  $f_i$ , indicata dal marker  $a$ , il segnale di uscita è in anticipo di  $135^\circ$  rispetto al segnale di ingresso.

Questo sfasamento è indicato dall'ordinata  $Y_c = 135,0$ . Alla frequenza  $f_2$  indicata dal marker  $d$ , lo sfasamento, indicato dall'ordinata  $Y_d$ , si riduce a  $95,5^\circ$ . Solo intorno a 70 kHz, ossia a una frequenza che è circa cinque volte la frequenza  $f_2$ , lo sfasamento si porta a  $90^\circ$ .

Dalle relazioni su esposte, ma anche dal diagramma della figura 12.4, si vede che, essendo  $R_2 > R_i$ , è anche  $f_2 > f_i$ . Ma essendo:

$$f_i = 1/(2 \cdot \pi \cdot C_f \cdot R_2) \quad f_2 = 1/(2 \cdot \pi \cdot C_f \cdot R_i)$$

porre, per esempio,  $f_2 = 10 f_i$ , significa porre,  $R_2 = 10 R_i$ .

Poiché il circuito si comporta da integratore reale al di là della frequenza  $f_i$ , è necessario che la frequenza  $f_i$  del segnale da integrare, ossia del segnale di ingresso, sia maggiore o eguale a  $f_i$ . In genere, ma non è tassativo, si pone  $f_i = 10 f_i$ . La figura 12.6 riporta quindi la classica risposta del circuito integratore della figura 12.3 a un segnale di ingresso a onda quadra avente fre-

quenza  $f$  pari a 10 kHz (è quindi:  $f_i < f < f_2$ ).

### Esempio 12.1

Si dimensiona un circuito integratore per un segnale sinusoidale  $V_i$  la cui frequenza  $f_i$  varia fra 5 kHz e 10 kHz.

#### Soluzione

Ponendo  $f_i = 10 f_i$ , si ha  $f_i = 0,1 f_i$ . Pertanto, considerando la frequenza  $f_{imax} = 10 \text{ kHz}$  del segnale di ingresso, si può imporre:

$$f_i \geq 0,1 \times 10 \text{ kHz} = 1 \text{ kHz}$$

Posto, per esempio,  $C_f = 1 \text{ nF}$ , dalla relazione  $f_i = 1/(2 \cdot \pi \cdot C_f \cdot R_2)$ , si ha:

$$R_2 = 1 / (2 \times \pi \times 1000 \times 10^{-9}) = 159,154 \text{ k}\Omega$$

Si può porre  $R_2 = 150 \text{ k}\Omega$ .

Per  $R_2 = 150 \text{ k}\Omega$  e  $C_f = 1 \text{ nF}$  si ha esattamente per  $f_i$ :

$$f_i = 1 / (2 \times \pi \times 150000 \times 10^{-9}) = 1061 \text{ Hz}$$

Ponendo, per esempio,  $f_2 = 10 f_i$ , ne consegue  $R_i = 0,1 R_2 = 15 \text{ k}\Omega$ .

Il diagramma della figura 12.7 fornisce la risposta dell'integratore qui dimensionato. Il circuito si comporta da integratore nell'intervallo compreso fra la frequenza indicata dal marker  $a$  (1,059 kHz) e la frequenza indicata dal marker  $b$  (10,59 kHz), ossia in un intervallo che comprende le variazioni di frequenza previste per il segnale di ingresso.

Un'altra configurazione a cui si può fare ricorso per la realizzazione di un circuito integratore con op-amp, è illustrata nella figura 12.8 nella quale la resistenza  $R_2$  dell'integratore riportato

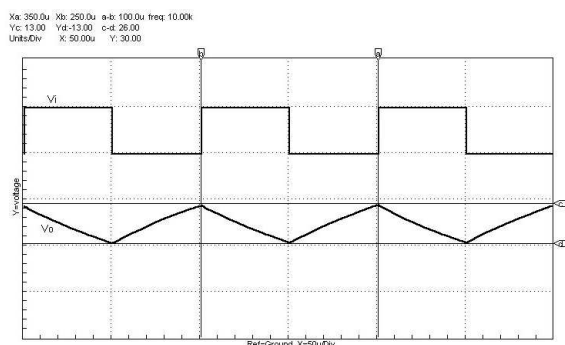


Figura 12.6 Risposta  $V_o$  a un segnale di ingresso  $V_i$  a onda quadra nell'integratore di cui alla figura 12.3

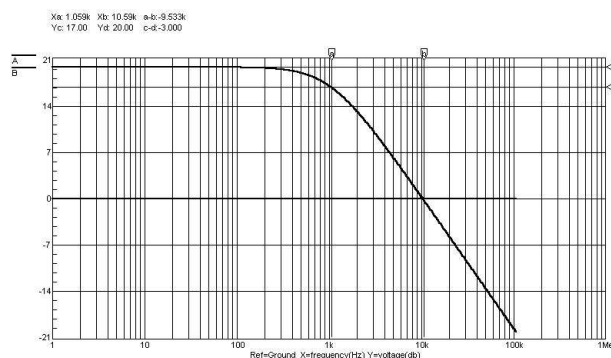


Figura 12.7 Curva di risposta dell'integratore dimensionato nell'esempio 12.1



**FIERE**

di REGGIO EMILIA

**Giulia e Felice  
Bianchi e Bianchi**

**8-9 aprile 2006**



**0550  
22.22.22  
22.22.22  
22.22.22**

**Orario:  
9.00-13.00  
15.00-19.30**

**REGGIO EMILIA  
FIERE**



nella figura 12.3, è stata sostituita da una rete a  $T$ . Con questa soluzione non è più necessario ricorrere ad elevati valori della resistenza  $R_2$  dal momento che con i valori attribuiti alle tre resistenze  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  della rete, si ottiene un valore effettivo della resistenza di reazione eguale alla  $R_2$  del circuito della figura 12.3. Con la rete a  $T$ , in pratica, viene infatti moltiplicato per 100 (rapporto fra la  $R_2$  del circuito di figura 12.3 e la  $R_1$  della rete a  $T$ ) il valore attribuito, nella medesima rete, alla  $R_1$ , con il vantaggio di usare una resistenza di reazione notevolmente inferiore alla  $R_2$  dell'integratore della figura 12.3. Ciò, come è noto, porta a una significativa riduzione

dell'errore che può essere introdotto dalle correnti di offset dell'op-amp.

Con riferimento alla figura 12.9 *b*, si vede, infatti, che il generatore equivalente fra la  $R_2$  e massa – figura 12.9 *a* – è eguale a un

generatore di tensione pari a  $V_o/101$ , con in serie una resistenza di  $100\ \Omega$ . La corrente che circola nella serie  $R_{eq}-R_1$  è quindi  $1/100$  della corrente che circolerebbe usando come resistenza di reazione la sola  $R_1$ . Ciò indica che il valore effettivo della resistenza di reazione è  $100 R_1$  ed è pertanto eguale, essendo  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ , al valore attribuito alla  $R_2$  ( $1\text{ M}\Omega$ ) nel circuito della figura 12.3.

La figura 12.10 pone a confronto le forme d'onda in ingresso e in uscita negli integratori delle figure 12.3 e 12.8. Si noti l'identico comportamento (eguali  $V_o$ ) dei due circuiti pilotati da segnali  $V_i$  eguali.

## 12.2 AMPLIFICATORE LOGARITMICO

Un'altra operazione che l'op-amp è in grado di eseguire è il logaritmo di una funzione. I circuiti di base dell'amplificatore logaritmico sono riportati nelle figure 12.11 *a* e *b*. Nella prima, nell'anello di reazione è posto il diodo  $D_1$ , mentre nella seconda è posto il BJT  $Q_1$  con base a massa e del quale, essendo anche il collettore a massa (virtuale), si utilizza quindi la giunzione base-emettitore. I due circuiti sono pertanto sostanzialmente identici. Il motivo del ricorso al diodo (o al BJT) è determinato dall'andamento esponenziale della caratteristica del componente la cui corrente è fornita dall'espressione:

$$I_D = I_s (e^{V_D/\eta V_T} - 1) \cong I_s e^{V_D/\eta V_T} \quad [12.5]$$

con  $V_T, kT$  e  $q = 0,0257\text{ V}$  (a  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Nella [12.5]  $I_D$  è la corrente diretta nel diodo,  $k$  è la costante di Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}\text{ J/K}$ ),  $T$  è la temperatura assoluta relativamente alla giunzione  $p-n$ ,  $I_s$  è la corrente inversa di saturazione,  $q$  è la carica dell'elettrone ( $1,6 \times 10^{-19}\text{ C}$ ),  $\eta$  è una costante empirica che, per il Silicio, a

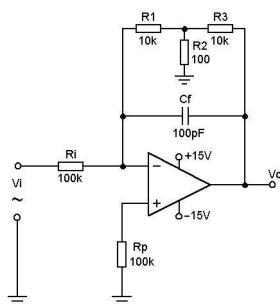


Figura 12.8 Circuito integratore con rete a  $T$  nell'anello di reazione

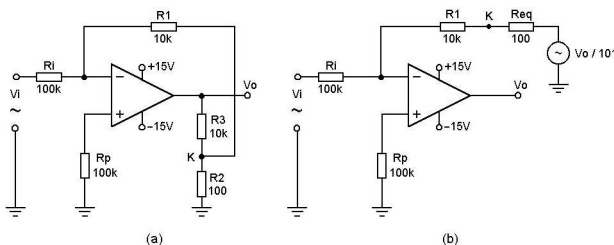


Figura 12.9 In *a* il circuito integratore della figura 12.8 ridisegnato e in *b* il circuito equivalente

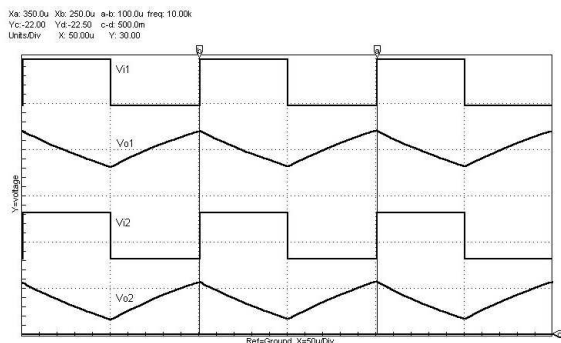


Figura 12.10 Forme d'onda in ingresso e in uscita rispettivamente nell'integratore della figura 12.3 e nell'integratore della figura 12.8 - l'andamento delle  $V_o$  è perfettamente identico in ampiezza e fase

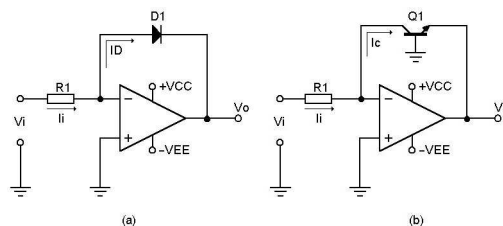


Figura 12.11 Amplificatori logaritmici. I due circuiti sono sostanzialmente identici

secondo dell'intensità della corrente nella giunzione, vale 1 o 2.

Considerando il BJT al posto del diodo, è sufficiente sostituire nell'espressione [12.5], alla corrente  $I_D$ , la corrente di collettore  $I_C$  del BJT e alla c.d.t.  $V_D$ , la relativa tensione base-emettitore  $V_{BE}$ . Si ha quindi:

$$I_C = I_S (e^{V_{BE}/\eta V_T} - 1) \cong I_S e^{V_{BE}/\eta V_T} \quad [12.6]$$

Prendendo il logaritmo in base  $e$  di ambo i membri e ponendo  $\eta = 1$  si ottiene:

$$\ln I_C = \ln I_S e^{V_{BE}/V_T}$$

Essendo  $I_C = I_i = V_i/R_1$ ,  $V_{BE} = -V_o$ , si ricava:

$$V_o = -V_T \cdot \ln [V_i / (R_1 I_S)] \quad [12.7]$$

La tensione  $V_o$  di uscita è pertanto proporzionale al logaritmo della tensione  $V_i$  di ingresso che dev'essere comunque un segnale positivo.

I circuiti della figura 12.11 presentano un inconveniente dovuto alla dipendenza dalla temperatura dei componenti attivi (diodo e BJT). Il coefficiente di temperatura della tensione  $V_T = kT/q$  è dell'ordine di  $+0,3 \% / ^\circ\text{C}$  e può, per esempio, essere compensato ricorrendo alla configurazione della figura 12.12 dove il termistore  $R_{Tm}$ , se scelto con lo stesso coefficiente di temperatura ( $+0,3 \% / ^\circ\text{C}$ ) compensa le variazioni della  $V_T$  e quindi della tensione di uscita  $V_o$ .

Un circuito interessante proposto dalla National, è l'amplificatore logaritmico com-

pensato in temperatura di cui alla figura 12.13. I BJT  $Q_1$  e  $Q_2$  con l'operazionale LM108 svolgono la funzione logaritmica già vista nei circuiti precedenti. La reazione negativa è, infatti, applicata all'emettitore del BJT  $Q_1$  tramite il partitore costituito dalla resistenza  $R_1$ , dal termistore  $R_{Tm}$  e dalla giunzione base-emettitore del BJT  $Q_2$ . La corrente  $I_{C1}$  di collettore di  $Q_1$  è così esattamente eguale alla corrente che fluisce nel pin di ingresso, ossia nella resistenza  $R_{in}$  e vale quindi  $V_i/R_{in}$ . Nel contempo il BJT  $Q_2$  è anche l'elemento di reazione dell'operazionale LM101A. Questa reazione forza la corrente  $I_{C2}$  di collettore di  $Q_2$  ad assumere lo stesso valore della corrente nella resistenza  $R_3$  che è connessa ad una tensione di riferimento  $V_{ref}$  di 15 V e vale quindi  $V_{ref}/R_3$ . Poiché  $I_{C2}$  è costante, sarà costante anche la tensione base-emettitore di  $Q_2$ . L'unica variabile è quindi la tensione base-emettitore di  $Q_1$  che è funzione della corrente di ingresso. Poiché è:

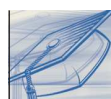
$$(V_{BE2} - V_{BE1}) = V_o \cdot \frac{R_{Tm}}{R_1 + R_{Tm}}$$

per la tensione di uscita si ha:

$$V_o = \frac{R_1 + R_{Tm}}{R_{Tm}} \cdot (V_{BE2} - V_{BE1}) \quad [12.8]$$

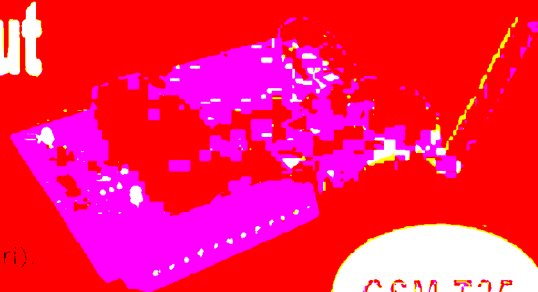
Ma poiché per due BJT accoppiati che lavorino con differenti  $I_C$ , è:

$$\Delta V_{BE} = \frac{kT}{q} \cdot \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}} = V_T \cdot \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \quad [12.9]$$



## Telecontrollo GSM 5 in + 5 out

Terminale GSM professionale con funzioni di telecontrollo e comunicatore con messaggi SMS. Consente di attivare da remoto fino a cinque carichi elettrici inviando messaggi SMS oppure chiamando il dispositivo con cellulari il cui numero sia stato preventivamente memorizzato (max 100 diversi cellulari). Funzionamento dei relé in modalità ad impulso con tempo di attivazione regolabile o bistabile. Dispone di 5 ingressi digitali. Invio automatico di messaggi SMS di allarme a seguito di un evento sugli ingressi ad un massimo di 5 cellulari.



GSM-T35

**EV**  
electronics

via S. Felice 10, 20139 Milano  
tel. 02 57 49 41 42 - fax 02 57 49 41 43

www.evr-electronics.com

Il prodotto è distribuito in Italia da EVR Electronics S.p.A. - via S. Felice 10 - 20139 Milano - tel. 02 57 49 41 42 - fax 02 57 49 41 43

La [12.8], tenendo conto che  $I_{c1} = V_i/R_{in}$  e  $I_{c2} = V_{ref}/R_3$ , per  $V_i > 0$  diviene:

$$V_o = -V_T \cdot \frac{R_1 + R_{Tm}}{R_{Tm}} \cdot \ln \frac{V_i R_3}{V_{ref} R_{in}} \quad [12.10]$$

La tensione di uscita è dunque proporzionale al logaritmo della tensione di ingresso. Per la stabilità termica dell'amplificatore è necessario che  $Q_1$  e  $Q_2$  siano il più possibile eguali, che tutte le resistenze abbiano tolleranza non superiore all'1 % e che il termistore  $R_{Tm}$  abbia un coefficiente di temperatura inferiore a +3500 ppm/°C.

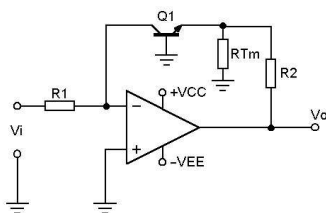
Gli amplificatori di cui alle figure 12.11, 12.12 e 12.13 possono essere utilizzati anche come amplificatori logaritmici il base 10.

Pertanto si può fare ricorso, anche in questo caso, alle espressioni [12.7] e [12.10] solo tenendo conto che per passare dai logaritmi naturali (ln) ai logaritmi decimali (lg) è sufficiente dividere i primi per 2,3. Per esempio, considerando l'amplificatore logaritmico della figura 12.13 e ponendo nella [12.10]  $R_1 = 15,7 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{Tm} = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1,5 \text{ M}\Omega$ ,  $V_T = 0,026$  e  $V_{ref} = 15 \text{ V}$ , si può scrivere:

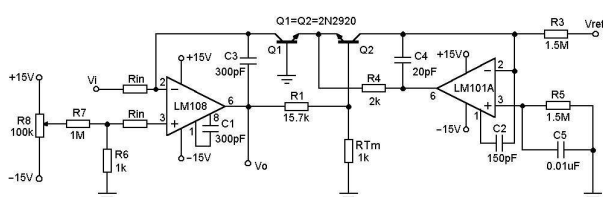
$$\frac{V_o}{2,3} = -(0,026 \times 16,7) \times \frac{1}{2,3} \times \ln \frac{V_i \cdot R_3}{V_{ref} \cdot R_{in}} = -0,4342 \times \lg \frac{V_i \cdot R_3}{V_{ref} \cdot R_{in}}$$

ossia:

$$V_o = - \left[ 5 + 1 \lg \frac{V_i}{R_{in}} \right]$$



**Figura 12.12** Amplificatore logaritmico con componente di compensazione ( $R_{Tm}$ ) in temperatura



**Figura 12.13** Amplificatore logaritmico compensato in temperatura

Ricordando, infine, che, indipendentemente dalla base del logaritmo, è:

$$\ln m + \ln n = \ln (m \cdot n)$$

si comprende come una delle utilizzazioni più frequenti dell'amplificatore logaritmico sia l'esecuzione del prodotto di due grandezze attraverso la somma dei loro logaritmi.

Inviando, infatti, i segnali  $m$  e  $n$  a due amplificatori logaritmici le cui uscite (rispettivamente,  $\ln m$  e  $\ln n$ ) vadano a un amplificatore sommatore che esegua quindi la funzione  $(\ln m + \ln n)$ , e ponendo quindi in cascata un amplificatore antilogaritmico, all'uscita di questo si avrà un segnale  $k = m \cdot n$ .

Gli amplificatori logaritmici che, oltre al prodotto, sono in grado di eseguire l'elevazione a potenza, trovano vasta utilizzazione negli apparecchi di misura per segnali di ampia escursione per i quali l'adozione di una scala logaritmica consente un'utile compressione dei dati. In questo caso, infatti, i valori sono riportati su una scala nella quale ogni divisione rappresenta una decade del segnale in misura.

## 12.3 AMPLIFICATORE ANTILOGARITMICO

La figura 12.14 riporta lo schema di base dell'amplificatore antilogaritmico, ossia dell'amplificatore che esegue l'operazione inversa dell'amplificatore logaritmico.

Riconsiderando l'espressione [12.6]:

$$I_c = I_s (e^{V_{BE}/V_T} - 1) \cong I_s e^{V_{BE}/V_T}$$

per  $V_{BE} = V_i$ , per le  $V_o$  si ha:

$$V_o = -R I_s e^{V_i/V_T} \quad [12.11]$$

Quest'ultima espressione indica che il circuito della figura 12.14 risponde con un segnale  $V_o$  ad andamento esponenziale a un segnale di ingresso  $V_i$  ad andamento lineare.

La figura 12.15 riporta un amplificatore antilogaritmico compensato in temperatura. Il primo amplificatore operazionale, unitamente al BJT  $Q_1$ , polarizza l'emettitore del BJT  $Q_2$  in funzione della tensione  $V_i$  di ingresso.

La corrente  $I_{c2}$  di collettore di  $Q_2$  varia quindi esponenzialmente con la tensione base-emettitore  $V_{BE2}$ . Questa corrente viene convertita in tensione dal

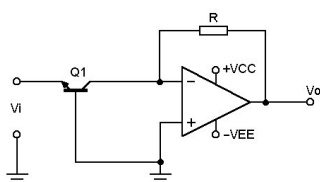


Figura 12.14 Configurazione di base di un amplificatore antilogaritmico

secondo operativo.

Con i valori attribuiti ai componenti dell'amplificatore di cui alla figura 12.15, per la tensione  $V_o$  di uscita si ha l'espressione:

$$V_o = 10^{-V_i} \quad [12.13]$$

Alla [12.13] si perviene considerando, con riferimento alla figura 12.15, che la d. d. p. fra il punto K e la massa è:

$$V_K = V_{NM} + V_{EB1} = V_{EB2}$$

Ma esprimendo  $V_{NM}$  in funzione della tensione  $V_i$  di ingresso, si può scrivere:

$$(V_i \cdot R_{Tm}) / (R_1 + R_{Tm}) + V_{EB1} = V_{EB2}$$

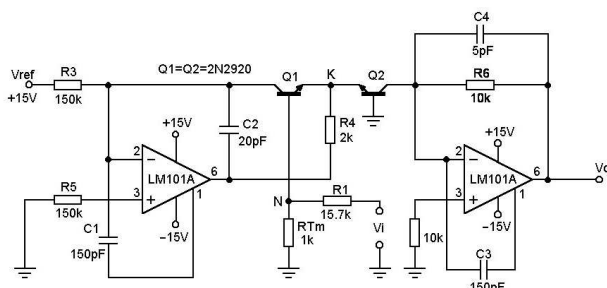


Figura 12.15 Amplificatore antilogaritmico compensato in temperatura

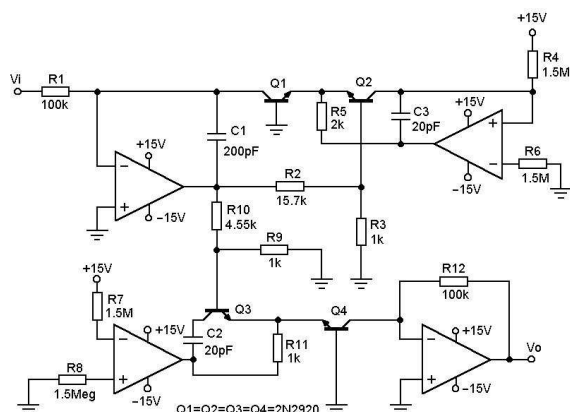


Figura 12.16 Circuito operatore che utilizzando quattro amplificatori operazionali realizza l'elevazione a potenza (e/o l'estrazione di radice)

Da questa si ricava:

$$V_{BE1} - V_{BE2} = (V_i \cdot R_{Tm}) / (R_1 + R_{Tm}) \quad [12.14]$$

Ma la [12.9], essendo  $I_{C1} = V_{ref} / R_3$  e  $I_{C2} = V_o / R_6$ , diviene:

$$V_{BE1} - V_{BE2} = \Delta V_{BE} = V_T \ln \left( \frac{V_{ref}}{R_3} \cdot \frac{R_6}{V_o} \right)$$

Confrontando quest'ultima con la [12.14] si ottiene l'espressione:

$$V_i \cdot \frac{R_{Tm}}{R_{Tm} + R_1} = V_T \cdot \ln \left( \frac{V_{ref}}{R_3} \cdot \frac{R_6}{V_o} \right)$$

Con i valori posti nel circuito di cui alla figura 12.15, ossia per  $V_{ref} = 15$  V,  $R_3 = 150$  k $\Omega$ ,  $R_{Tm} = 1$  k $\Omega$ ,  $R_1 = 15,7$  k $\Omega$  e  $R_6 = 10$  k $\Omega$  e per  $V_T = 0,026$  V, per la tensione di uscita  $V_o$ , trasformando il logaritmo naturale in decimale, si ricava l'espressione [12.13].

## 12.4 ELEVAZIONE A POTENZA. ESTRAZIONE DI RADICE

Il circuito rappresentato nella figura 12.16 è un elevatore a potenza. Poiché la tensione di uscita  $V_o$  è fornita dall'espressione:

$$V_o = V_i^{\frac{16,7R_9}{R_{10}}} \quad [12.15]$$

è chiaro come modificando opportunamente i valori delle resistenze  $R_9$  e  $R_{10}$  si possa avere in uscita una qualsiasi potenza del segnale di ingresso  $V_i$ . Con i valori attribuiti a queste resistenze nel circuito di figura si ottiene un'elevazione al cubo.

Altrettanto intuitivo è l'utilizzo del circuito per l'estrazione di radice. Per esempio, ponendo  $R_{10} = 33,4$  k $\Omega$  si ha in uscita la radice quadrata del segnale di ingresso dal momento che per  $R_{10} = 33,4$  k $\Omega$  l'esponente della [12.15] diviene pari a 1/2.

## PER IL LETTORE

I diagrammi qui riportati sono stati ricavati con il software di simulazione CircuitMaker della Microcode Engineering Inc. – Utah – USA, che utilizza SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) realizzato dalla Microcode Engineering Inc. – Utah – USA. Sito Internet: microcode.com.

Codice MIP 249102

# Riflettori su... Farnell InOne:

**C**on il lancio del nuovo CATALOGO di Elettronica 2006, Farnell InOne conferma la leadership assoluta nella consegna in 24 ore di prodotti elettronici, elettrici ed industriali. Non solo per l'ampiezza di gamma – 350.000 voci disponibili online, record assoluto nel settore – ma anche per la molteplicità di servizi e la qualità del supporto alla clientela, Farnell InOne dispone dell'offerta più completa e si propone come il partner ideale per ogni necessità di produzione in ambito elettronico, soprattutto nel rispetto delle Direttive Europee RoHS dove vanta un listino di prodotti RoHS-compliant senza paragoni nel mercato.

Farnell InOne, la società internazionale di commercializzazione di prodotti elettronici, elettrici ed industriali per consegna in 24 ore, ormai confermata il distributore internazionale che in Italia offre la più ampia scelta del mercato con i suoi 350.000 prodotti a disposizione, lancia oggi il nuovo

Catalogo 2006.

L'ing. Stefano Nosedà, General Manager di Farnell InOne Italia, che ha dato il via alle operazioni della Business Unit italiana del colosso mondiale appartenente al Gruppo Premier Farnell, ci presenta il lancio del nuovo CATALOGO DI ELETTRONICA 2006.

“L'occasione di oggi – commenta Nosedà – l'uscita del CATALOGO annuale, ha sempre rappresentato il momento più importante all'interno delle mille attività che vengono svolte in un anno di impegni continui. IL CATALOGO del 2006, in questo senso, assume ancor più rilevanza in quanto abbiamo concentrato in un solo volume, il meglio dei prodotti elettronici oggi presenti sul mercato mondiale. Con i migliori produttori del settore abbiamo selezionato le soluzioni più aderenti alle esigenze del Progettista Elettronico spingendoci fino agli ambiti dell'Automazione Industriale e, settore emergente, della manutenzione. Dal nostro CATALOGO e dal sito WEB offriamo ai nostri clienti una vetrina di 350.000 prodotti, è un record assoluto nel settore, di molte lunghezze avanti rispetto ai nostri più diretti concorrenti. I clienti di Farnell InOne sanno che in Farnell





# tutta l'elettronica in 24 ore

InOne possono sempre trovare il prodotto che stanno cercando, ma soprattutto, sanno di poterlo trovare nelle quantità richieste e riceverlo il giorno successivo, sul tavolo!”.

## È questo un reale vantaggio competitivo?

“Indubbiamente sì – afferma l'Ing Stefano Nosedà – il nostro servizio non ammette indecisioni. Il Progettista necessita di prodotti sempre per il giorno dopo e su questa esigenza basiamo la nostra forza. È un livello di servizio che non si improvvisa ed è per questo che sono altissime le barriere all'entrata in questo comparto della distribuzione di elettronica. Dopo aver ottimizzato i processi di acquisizione dell'ordine, sia questo ricevuto in formato elettronico, telefonico o tramite fax, devi avere soprattutto magazzini capienti, altissimi investimenti nello stock dei prodotti, una logistica che, dal prelievo del singolo prodotto, al confezionamento fino alla consegna fisica al cliente finale, sia in grado di garantire la certezza di ricevere oggi quanto ordinato ieri...”

## Ing. Nosedà, cosa contraddistingue ancora il vostro nuovo CATALOGO dall'offerta dei vostri concorrenti?

“Oltre all'ampiezza di gamma possiamo vantare altri servizi esclusivi. Ci tengo particolarmente a presentarne il Servizio di Nastratura che Farnell InOne offre: è strutturato per i componenti passivi e viene confezionato a seconda delle esigenze del cliente. Questo servizio viene fornito completo con leader e trailer tape, in modo che i reel siano pronti per essere subito montati sulle macchine pick and place. Il cliente deve soltanto selezionare il prodotto da nastrare e le quantità da ordinare citando uno specifico codice. I prodotti scelti saranno forniti



su reel standard da 180 mm con i quantitativi minimi a seconda della dimensione del case. E, per rispondere sempre meglio anche alle esigenze produttive, Farnell InOne ha ampliato la gamma di reel interi disponibili da stock di Murata, AVX e Phycomp, garantendo ai clienti di ricevere solo reel completi ed a prezzi sempre più competitivi.

Ma quanto più contraddistingue il nostro CATALOGO rispetto alla concorrenza, per rispondere alla sua domanda, è la nostra proposta di servizi nel rispetto delle Direttive RoHS”.

## Ha anticipato una delle domande più importanti che volevo farle.

### In che modo avete “aderito” alle Direttive europee che limitano le sostanze ritenute “pericolose”?

“Già da tre anni Farnell InOne ha rivolto le proprie attenzioni alle più importanti ed attuali tematiche che il mercato Elettronico propone quali le Direttive RoHS e WEEE con l'obiettivo di porsi come “Punto di Riferimento” per chi necessita di informazioni sul tema per poter meglio orientare le proprie scelte. Come noto la Comunità Europea ha pubblicato ormai da tempo le norme entro le quali gli operatori del settore dovranno agire in qualità di produttori e/o distributori ed in tal senso Farnell InOne si è messa in prima linea attraverso una serie di iniziative nel promuovere le Direttive stesse fino ad essere accreditato come l'operatore che ha per primo normalizzato i propri processi, ha dettato le regole della codificazione prodotti e che ha divulgato per primo le nozioni base di una così intricata materia legislativa con una ampia letteratura dedicata al tema. Le pubblicazioni di Farnell InOne in materia RoHS hanno abbracciato i più svariati temi:



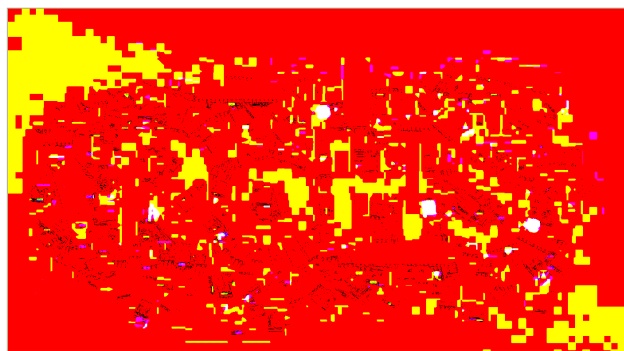
111

Risorse

- La PRIMA GUIDA in EUROPA in collaborazione con ERA Technology innanzitutto.
- Il primo MANUALE TECNICO sulle Direttive RoHS.
- La prima Brochure Divulgativa.
- Il PRIMO ed UNICO CATALOGO di soli prodotti RoHS".

Per quanto riguarda i SERVIZI l'elenco è ancor più lungo: innanzitutto è stato creato all'interno dell'E-Commerce di Farnell InOne un vero e proprio WEB-SITE interamente dedicato alle Direttive RoHS & WEEE; in questo sito si possono leggere e scaricare i testi completi delle normative, le più importanti Domande e Risposte, i pareri degli opinion leaders ed i suggerimenti sempre nell'ottica di poter assistere i propri clienti nell'affrontare le problematiche inerenti tale legislazione.

Si passa poi al CERTIFICATO di CONFORMITÀ RoHS dove Farnell InOne ha messo a disposizione di tutti i clienti un servizio esclusivo e gratuito: direttamente e solo dal sito WEB di Farnell InOne è possibile scaricare, in 2 diversi formati (PDF o pagina WEB) il CERTIFICATO DI CONFORMITÀ RoHS per tutti i prodotti elettronici che rispondono alle nuove Direttive Europee in materia RoHS. Questo servizio consentirà di visualizzare e stampare il CERTIFICATO di CONFORMITÀ intestato alla persona che lo richiede, riportando per ogni prodotto: data della richiesta/stampa, codice e descrizione del prodotto, nome e codice del produttore, oltre alle concentrazioni limite delle sostanze in base a quanto stabilito dalle Direttive RoHS. Un altro servizio già oggi molto richiesto è la CONVERSIONE DI CODICI da NON-RoHS a RoHS: è un'esclusiva Farnell InOne e consente al cliente di inviare l'elenco dei materiali solitamente in uso per essere convertiti in prodotti RoHS-compliant. In questo modo il cliente ottiene due vantaggi: risparmia tempo nel processo di conversione codici ed ha la certezza che i



prodotti convertiti da Farnell InOne siano "sicuramente" RoHS-compliant, certificati da un operatore di cui si può avere fiducia per la competenza dimostrata.

Ma quanto oggi ci dà un vantaggio competitivo effettivo è la gamma di prodotti RoHS disponibile. A metà gennaio 2006 Farnell InOne poteva vantare un numero di prodotti RoHS nettamente superiore rispetto ai diretti concorrenti. E questo il mercato l'ha subito notato. Il nostro Call Centre riceve ogni giorno sempre più richieste di clienti che vogliono esclusivamente prodotti RoHS e, questi stessi clienti, ci confermano, si rivolgono a noi in quanto sanno che solo in Farnell InOne si ha la certezza di trovare i prodotti conformi mentre ciò non accade con i nostri competitors.

I servizi che ho appena citato – conclude l'ing. Nosedà - hanno richiesto ingenti investimenti che si sono resi indispensabili per qualificare la nostra offerta su un piano tecnologico sicuramente diverso rispetto al tradizionale distributore da CATALOGO. Vogliamo

essere al fianco dei nostri clienti e trasmettere sicurezza, dettata da una sempre attenta cura delle nuove tecnologie, delle normative internazionali che periodicamente cambiano ed impongono agli operatori del settore un continuo aggiornamento ed una rivisitazione dei processi produttivi e distributivi per affermare ogni giorno il proprio posizionamento competitivo".

**Codice MIP 249110**

**RoHS -  
il treno  
sta  
partendo...**

**Sei già  
conforme RoHS?**

il catalogo Farnell InOne  
è dedicato ai prodotti  
conformi  
RoHS

## ABBONATI SUBITO



Compila, ritaglia e spedisce via fax questo coupon  
allo **02-66508225**



Spedisci questa pagina in busta chiusa a:  
**INWARE Edizioni srl**  
Via Cadorna, 27/31 - 20032 Cormano (MI)



Chiamaci allo **02-66504755**



Abbonati on-line sul sito  
**www.farelettronica.com/abbonamento**

## DATI PERSONALI

Nome .....

Cognome .....

Via ..... n° .....

Cap ..... Città ..... Prov .....

Tel ..... Fax .....

Email .....

Ragione Sociale .....

P.Iva ..... ☐ Ricevuta

**Privacy.** Ai sensi del Decr. Lgs. 196/2003 la informiamo che i dati trasmessi verranno impiegati coi principali scopi di indagini di mercato e nelle modalità previste dallo stesso, prevalentemente con mezzi informatici. Il conferimento, di norma facoltativo, è obbligatorio per permettere il rapporto commerciale. È in ogni caso fatto diritto dell'interessato esercitare i propri diritti, nei modi previsti dal "Titolo II art. 7" della legge sopra citata, scrivendo a Inware Edizioni srl, Via Cadorna 27 - 20032 Cormano o tramite email a [info@inwaredizioni.it](mailto:info@inwaredizioni.it)

SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI ABBONAMENTO  
barrare la tipologia prescelta

- ☐ Riceverò **11 NUMERI** di **FARE ELETTRONICA**  
pagando solo **€45,00** anziché €60,50
- ☐ Riceverò **11 NUMERI** di **FARE ELETTRONICA**  
e **11 NUMERI** di **FIRMWARE**  
pagando solo **€69,50\*** anziché €90,00

MODALITÀ DI PAGAMENTO  
barrare la modalità prescelta

- ☐ **CARTA DI CREDITO**  
☐ American Express ☐ Visa ☐ Mastercard  
Titolare .....  
n° ..... scad .....
- ☐ **VERSAMENTO SUL CCP N. 70107552**  
Allegare la ricevuta (o copia) del versamento  
intestato ad **Inware Edizioni srl**, indicando nella causale:  
"Abbonamento Fare Elettronica"
- ☐ **BONIFICO BANCARIO**  
Appoggiarlo su: **Poste Italiane - CIN: I - ABI: 07601**  
**CAB: 01600 - C/C: 000070107552**  
intestato ad **Inware Edizioni srl**
- ☐ **ALLEGRO UN ASSEGNO**  
intestato ad **Inware Edizioni srl**  
Firma .....

\*Offerta valida entro e non oltre il 31 Marzo 2006

**Scopri sul retro di questo coupon  
i vantaggi a te riservati**

BancoPosta

CONTI CORRENTI POSTALI - Ricevuta di Versamento -

BancoPosta

CONTI CORRENTI POSTALI - Ricevuta di Versamento -



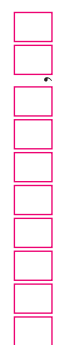
sul C/C n.

22790232

TD 451

INTESTATO A:

**INWARE S.R.L.**  
**VIA CADORNA 27 20032 CORMANO MI**



di Euro

importo in lettere

INTESTATO A:

**INWARE S.R.L.**  
**VIA CADORNA 27 20032 CORMANO MI**

ESEGUITO DA

VIA - PIAZZA

CAP

LOCALITÀ

CAUSALE

BOLLO DELL'UFFICIO POSTALE

V.S. E-MAIL

di Euro

importo in lettere

V.S. E-MAIL

ESEGUITO DA

VIA - PIAZZA

CAP

LOCALITÀ

BOLLO DELL'UFFICIO POSTALE  
codice bancoposta

IMPORTANTE: NON SCRIVERE NELLA ZONA SOTTOSTANTE  
numero conto

22790232&lt; 451&gt;

#### AVVERTENZE

Il Bollettino deve essere compilato in ogni sua parte (con inchiostro nero o blu) e non deve recare abrasioni, correzioni o cancellature.

La causale è obbligatoria per i versamenti a favore delle Pubbliche Amministrazioni.

Le informazioni richieste vanno riportate in modo identico in ciascuna delle parti di cui si compone il bollettino

# ABBONATI SUBITO!

- ✓ **Risparmierai fino a €57,00 sul prezzo di copertina**
- ✓ **Avrai la garanzia del prezzo bloccato per un anno**
- ✓ **Le riviste ti saranno recapitate comodamente a casa**
- ✓ **Compreso con l'abbonamento (o il rinnovo) riceverai un buono sconto del 20%\* per un tuo prossimo acquisto sul sito [www.farelettronica.com](http://www.farelettronica.com)**
- ✓ **Compila il cedolino sul retro e invialo in busta chiusa o via fax e riceverai l'esclusivo portachiavi magnetico con orologio/datario di Fare Elettronica**



\* Validità 3 mesi

**INWARE**  
EDIZIONI

# Illumina i tuoi progetti di una luce nuova

FREE MOVE

SENA  
TECHNOLOGIES

MicroElektronika

MOXOS

Genesys

OpenVox

ee tools

- Riconoscimento e sintesi vocale
- Bluetooth e ZigBee
- Interfacce USB e PCI
- Prodotti per il Device Networking
- Visualizzazione
- Sistemi di sviluppo e programmatori universali
- Sistemi CAE/CAD
- Tanta innovazione per le tue applicazioni!

**INWARE srl**

Via Cadorna, 27/31  
20032 CORMANO (MI)

Tel. 02.66504794 • 02.66504755

Fax 02.66508225

info@inware.it • www.inware.it

**Inware®**  
Providing Innovation

Codice MIP 249115





# SCUOLA RADIO ELETTRA



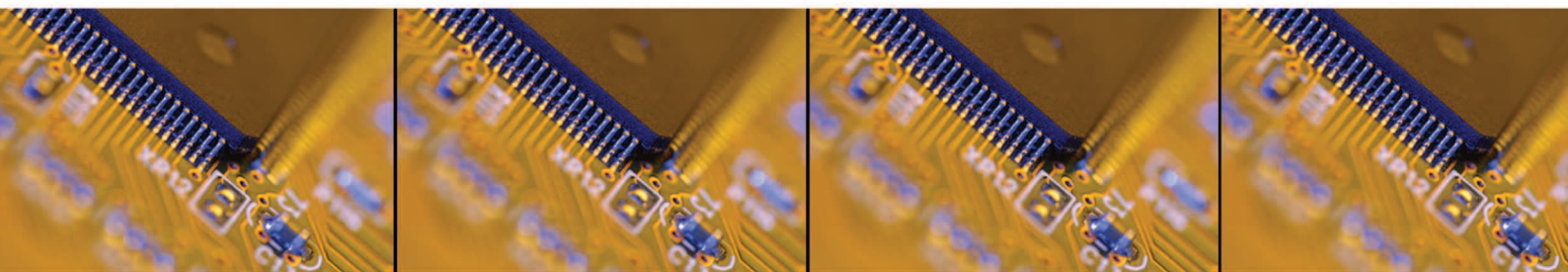
*leader nel settore*

*organizza*

**CORSI RICONOSCIUTI**

*(Legge 845/78)*

Se sei interessato a: **1) Tecnologie elettroniche**  
**2) Automazione industriale** **3) Sistemi di controllo**  
**con PLC** **4) Impianti elettrici residenziali** **5) Sistemi**  
**digitali e microprocessori.....**



[www.scuolaradioelettra.it](http://www.scuolaradioelettra.it)

per info chiama il numero verde 800 325 325